

Anna Kujala

Kosteusteknisesti turvallinen puurakenteinen pientalo

Opinnäytetyö

Kevät 2012

Tekniikan yksikkö

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Talonrakennustekniikan suuntautumisvaihtoehto



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikka

Koulutusohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Anna Kujala

Työn nimi: Kosteusteknisesti turvallinen puurakenteinen pientalo

Ohjaaja: Marita Viljanmaa

Vuosi: 2012

Sivumäärä: 65

Liitteiden lukumäärä: 2

Tässä opinnäytetyössä käsitellään puurakenteisen pientalon ulkovaipparakenteiden kosteusteknisen toiminnan periaatteita sekä kosteusvaurioitumisen syitä ja mekanismeja. Työssä perehdytään rakenteiden kosteusteknistä toimivuutta käsittelevään kirjallisuuteen, jonka pohjalta voidaan arvioida, mitkä ovat tärkeimmät seikat, jotka tulee ottaa huomioon kosteusteknisesti turvallisia puurakenteita suunniteltaessa ja toteutettaessa.

Tutkimus rajataan rakenteiden osalta Suomessa yleisesti käytettyihin puurakenneratkaisuihin. Työssä tutkitaan, miten rakenteissa on huomioitu ulkoisten ja sisäisten kosteudenlähteiden vaikutukset rakenteeseen. Tarkastelemalla, miten eri kosteudenlähteet kuormittavat kutakin rakennetta, osoitetaan ne ominaisuudet, jotka tekevät kustakin rakenteesta kosteusteknisesti turvallisen.

Toisaalta työssä selvitetään ne riskitekijät, jotka heikentävät rakenteiden kosteusteknistä toimintaa. Lisäksi arvioidaan energiamääräysten tiukentumisen sekä ilmastomuutoksen vaikutuksia rakenteiden kosteustekniseen toimintaan saatavilla olevien tutkimustulosten perusteella.

Avainsanat: puurakenteet, kosteus, kosteusvauriot, pientalot

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Anna Kujala

Title of the thesis: Moisture Technically Safe Timber House

Supervisor: Marita Viljanmaa

Year: 2012

Number of pages: 65

Number of appendices: 2

The present thesis processes the principals of the moisture technical performance of the external structures of a timber structured detached house as well as the reasons for moisture damages and the moisture damage mechanisms. The thesis examines the literature that has been written about the moisture technical performance of structures. Based on this literature study, the most important qualities that need to be considered when planning and constructing a moisture technically safe timber structured detached house can be estimated.

The study orientates in the common wooden structures used in Finland. By studying how the external and internal sources of moisture affect the structures the qualities that make the structures moisture technically safe can be pointed out.

On the other hand the present thesis clarifies the risk factors that can deteriorate the moisture technical performance of the structures. In addition, the study estimates the possible effects that future building regulations concerning energy efficiency and climate change might have on the moisture technical performance of the structures based on the studies already available.

Keywords: timber structures, moisture, moisture damages, detached house

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuvio- ja taulukkoluettelo.....	7
Käytetyt termit ja lyhenteet	9
1 JOHDANTO	11
2 RAKENTEET.....	13
2.1 Tarkasteltavat rakennetyypit	13
2.1.1 Ulkoseinärakenteet	13
2.1.2 Yläpohjarakenteet	15
2.1.3 Alapohjarakenteet	17
2.2 Rakenteiden kosteustekninen toiminta.....	18
2.2.1 Kosteuden lähteet	18
2.2.2 Kosteuden siirtyminen rakenteissa	19
2.2.3 Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen toimivuus.....	21
2.2.4 Yläpohjarakenteiden kosteustekninen toimivuus	23
2.2.5 Alapohjarakenteiden kosteustekninen toimivuus	24
2.3 Liitokset ja läpiviennit	26
2.4 Laitteet ja putket.....	26
3 RAKENTEIDEN KOSTEUSTEKNISEEN TOIMINTAAN	
VAIKUTTAVAT RISKITEKIJÄT	28
3.1 Rakenteiden kosteusvaurioituminen	28
3.1.1 Kosteusvaurioitumisen syyt ja mekanismi.....	28
3.1.2 Kosteuden aiheuttamat vauriot	31
3.2 Kesällä 2012 voimaan astuvat tiukentuvat energiamääräykset.....	31
3.2.1 Tampereen teknillisen yliopiston tutkimus matalaenergiarakenteiden toimivuudesta.....	32
3.2.2 VTT:n lausunto rakenteiden energiatehokkuuden parantamisen vaikutuksista rakenteiden kosteustekniseen toimintaan.....	34

3.3 Poikkeuksellisten sääolosuhteiden vaikutus rakenteiden kosteustekniseen toimivuuteen.....	36
4 KOSTEUSTEKNISESTI TURVALLISET PUURAKENTEET	37
4.1 Rakenteiden kosteusteknisen toimivuuden edellytykset	37
4.2 Ulkoseinärakenteiden kosteusteknisen toimivuuden varmistaminen	38
4.2.1 Puu-ulkoverhous	38
4.2.2 Ulkoseinärakenteen tuulettuvuus ja kuivumiskyvyn varmistaminen	39
4.2.3 Massiivipuisten ja hengittävien puukuiturakenteisten ulkoseinien hygroskooppinen tasapaino	41
4.2.4 Vesihöyryn diffuusion ja konvektiovirtausten kontrollointi ulkoseinärakenteissa	42
4.2.5 Ulkoseinärakenteen sisäinen konvektio kosteusvauriolle altistavana tekijänä.....	44
4.2.6 Rankarakenteisten ulkoseinärakenteiden kosteusteknisen toiminnan vertailu	44
4.2.7 Ulkoseinän liitokset maanvastaisiin rakenteisiin.....	48
4.3 Yläpohjarakenteiden kosteusteknisen toimivuuden varmistaminen	48
4.3.1 Yläpohjan tuulettuvuus ja kuivumiskyvyn varmistaminen.....	48
4.3.2 Eristeiden hygroskooppisuus kosteudenhallinnan osatekijänä	51
4.3.3 Vesihöyryn diffuusion ja konvektiovirtausten kontrollointi yläpohjassa	51
4.4 Tuulettuvan alapohjarakenteen kosteusteknisen toiminnan varmistaminen	52
4.4.1 Kosteuskuormien kontrollointi tuulettuvan alapohjan tapauksessa	52
4.4.2 Tuulettuvan alapohjan ryömintätilan tuuletus	53
4.4.3 Vesihöyryn diffuusion ja konvektiovirtausten kontrollointi alapohjarakenteissa	54
4.4.4 Tuulettuvan alapohjan materiaalivalinnat.....	54
4.5 Kosteusteknisesti varmat liitokset, läpiviennit sekä laite- ja putkiasennukset	55
4.6 Rakentamisen laatu ja rakennusmenetelmät rakenteiden kosteusteknisen toiminnan varmistajana	55
4.7 Rakennuksen käytön vaikutus rakenteiden kosteustekniseen toimintaan.	57

4.8 Puurakenteet tulevaisuudessa	58
4.8.1 Tiukentuvien energiamääräysten vaikutukset pientalojen puurakenteisiin	58
4.8.2 Muuttuvan ilmaston vaikutukset pientalojen puurakenteisiin	59
LÄHTEET	62
LIITTEET	66

Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Puurunkoinen ulkoseinä. Mineraalivillaeriste ja puuverhous. (RT 82-11006 2010, 24.).....	13
Kuvio 2. Esimerkki hengittävistä seinärakenteesta (Kokko 2002, 29).....	14
Kuvio 3. Sisäpuolelta lisälämmöneristetty hirsiseinärakenne (Eurohonka 2012)..	15
Kuvio 4. Ristikkorakenteinen, puukuituvillalla eristetty yläpohjarakenne (RT 83-11010 2010, 19).....	16
Kuvio 5. SPU-eristetty palkkirakenteinen yläpohja (SPU-eristeet 2011).	17
Kuvio 6. Palkkirakenteinen ryömintätilallinen alapohja, jossa kelluva pintalevytys (RT 83-11009 2010, 25).....	17
Kuvio 7. Erilaisia ulkoseinissä tapahtuvia konvektiovirtauksia (Vinha 2008, 7).....	20
Kuvio 8. Periaatekuva höyrynsulullisesta ja kosteutta läpäisevän puurunkoisen seinän kosteusteknisestä toiminnasta talviolosuhteissa (Vinha 2008, 3).....	22
Kuvio 9. Tyypilliset ryömintätilan olosuhteet talvella (Vinha ym. 2008, 29).	24
Kuvio 10. Tyypilliset ryömintätilan olosuhteet kesällä (Vinha ym. 2008, 30.)	25
Kuvio 11. Ryömintätilan olosuhteet sateisena kesänä (Vinha ym. 2008, 31).....	26
Kuvio 12. Ruotsissa käytetyn ulkoseinärakenteen leikkauskuva (Mattila 2011, 3).	30
Kuvio 13. Lämmönvastukseltaan suuren alapohjan alapuolisen ryömintätilan olosuhteet talvella (Vinha ym. 2008, 32).	33
Kuvio 14. Lämmönvastukseltaan suuren alapohjan alapuolisen ryömintätilan olosuhteet kesällä (Vinha ym. 2008, 32).	33
Kuvio 15. Lämmönvastukseltaan suuren alapohjan alapuolisen ryömintätilan olosuhteet sateisena kesänä (Vinha ym. 2008, 33).	34
Kuvio 16. Ristikkorakenteisen yläpohjan tuulettuva tila.....	49
Kuvio 17. Palkkirakenteisen yläpohjan tuuletustila.....	50
 Taulukko 1. Rakennusosien homehtumisriski lämpötilojen ja suhteellisen kosteuden mukaan (RT 05-10710 1999, 6).	29
Taulukko 2. Hengittävän seinärakenteen suhteelliset kosteuspitoisuudet tammikuun sääolosuhteissa.....	45
Taulukko 3. Hengittävän seinärakenteen suhteelliset kosteuspitoisuudet huhtikuun sääolosuhteissa.	46

Taulukko 4. Hengittävän seinärakenteen suhteelliset kosteuspitoisuudet heinäkuun sääolosuhteissa.....	46
Taulukko 5. Hengittävän seinärakenteen suhteelliset kosteuspitoisuudet lokakuun sääolosuhteissa.	47
Taulukko 6. Höyrynsulullisen seinän suhteelliset kosteuspitoisuudet tammikuun sääolosuhteissa.	48

Käytetyt termit ja lyhenteet

Pientalo	Pientalolla tarkoitetaan omakotitaloa, paritaloa sekä kaksi- tai useampikerroksisia omakotitaloja, joissa on kaksi asuntoa.
Hengittävä rakenne	Hengittävä rakenne tarkoittaa rakennetta, johon voi helposti siirtyä diffuusiolla vesihöyryä ja jossa vesihöyry voi sitoutua hygroskooppiseen aineeseen tai vapautua siitä ja siirtyä helposti takaisin ympäristöön.
Ulkovaippa	Ulkovaippa tarkoittaa rakennuksen niitä rakennusosia, jotka erottavat rakennuksen lämmöneristetyt tilat ulkoilmasta, maaperästä tai lämmittämättömästä tilasta.
Ryömintätila	Ryömintätila tarkoittaa rakennuksen alapohjan, sokkelin ja perusmaan rajoittamaa tarkoituksellisesti järjestettyä ilmatilaa.
Rakennuskosteus	Rakennuskosteus tarkoittaa rakennusvaiheen aikana tai sitä ennen rakenteeseen tai rakennemateriaaliin joutunutta rakennuksen käytönaikaisen tasapainokosteuden ylittävää kosteutta, jonka tulee poistua rakenteesta.
Kapillaarivirtaus	Kapillaarivirtaus tarkoittaa huokoisalipaineen paikallisten erojen aiheuttamaa nesteen siirtymistä huokoisessa aineessa.
Vesihöyryn diffuusio	Vesihöyryn diffuusio tarkoittaa kaasuseoksessa vakiokokonaispaineessa tapahtuvaa vesihöyrymolekyylien liikettä, joka pyrkii tasoittamaan kaasuseoksen höyrypitoisuus- tai höyryn osapaine-erot.
Kosteuskonvektio	Kosteuskonvektio tai vesihöyryn konvektio tarkoittaa kaasuseoksen sisältämän vesihöyryn siirtymistä

kaasuseoksen mukana sen liikkuesssa kokonaispaine-eron vaikutuksesta.

Konvektio	Konvektio on huokoisten ja hyvin ilmaa läpäisevien aineiden ja rakennusosissa olevien rakojen läpi tapahtuvaa ilman virtausta.
Suhteellinen kosteus	Suhteellinen kosteus tarkoittaa ilmassa tai materiaalissa olevan vesihöyryn määrän suhdetta ilman tai materiaalin lämpötilaa vastaavaan kyllästyskosteuteen.
Hygroσκοoppisuus	Hygroσκοoppisuudella tarkoitetaan aineen kykyä sitoa kosteutta ilmasta ja luovuttaa kosteutta ilmaan.
Kondensoituminen	Kondensoitumisella tarkoitetaan sitä, että ilmassa oleva vesihöyry tiivistyy nesteeksi ilmassa, kiinteään aineen, esimerkiksi rakennusosan, pinnalle tai sen sisään ilmahuokosiin, kun ilman kosteus on suurempi kuin ilman lämpötilaa vastaava kyllästyskosteus.
Massiivirakenne	Massiivirakenne tarkoittaa yhdestä homogeenisestä materiaalista kostuva rakennetta.

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan puurakenteisen pientalon puurakenteiden kosteusteknistä käyttäytymistä ja niitä seikkoja, joita kosteusteknisesti turvallinen puurakenteinen pientalo edellyttää. Työssä selvitetään, mitkä seikat edistävät rakenteiden kosteusvaurioitumista ja kartoitetaan tärkeimmät tekijät, jotka huomioon ottaen voidaan toteuttaa kosteusteknisesti turvallinen puurakenteinen pientalo, jonka rakenteet toimivat kosteustekniseltä kannalta tarkasteltuna oikein ja joka samalla täyttää nykyaikaiset rakennusvaatimukset. Lisäksi työssä arvioidaan, miten tulevaisuuden sääolosuhteet ja muuttuva rakennuslainsäädäntö voivat vaikuttaa puurakenteiden kosteustekniseen toimintaan.

Tutkimus on rajattu ulkoseinärakenteiden osalta kolmeen erilaiseen, nykyaikaiseen seinärakenteeseen. Nämä ulkoseinärakenteet ovat puurunkoinen mineraalivillaeristeinen seinärakenne, jossa höyrynsulku on sisäpinnassa, puurunkoinen puukuitueristeinen seinärakenne, jossa on ilmansulkupaperi höyrynsulun sijaan sekä massiivihirsiseinärakenne. Lisäksi työssä tarkastellaan hirsiseinän sisäpuolista lisälämmöneristystä, joka koetaan ulkopuolista lisälämmöneristämistä ongelmallisemmaksi (Vinha ym. 2008, 51).

Lattiarakenteiden osalta tarkastelussa on puurakenteinen tuulettuva alapohja eli niin sanottu rossipohja.

Yläpohjarakenteiden osalta tutkimus on rajattu kahteen eri rakennetyyppiin: ristikkorakenteiseen yläpohjaan, joka on eristetty puhallusvillalla ja palkkirakenteiseen, vinoon yläpohja, jossa lämmöneristeenä on SPU-eriste.

Rakenteiden liitoksien yksityiskohtia tässä työssä ei käsitellä.

Puu on ylivoimaisesti suosituin materiaali pientalorakentamisessa. Puun osuus pientalojen runkorakenteissa vuonna 2010 oli 84 prosenttia ja puun osuus julkisivuissa 79 prosenttia (Puuinfo 2010).

Myös uusissa pientaloissa esiintyy kosteusvaurioita, jotka johtuvat puutteellisesta kosteudenhallinnasta rakennustyön aikana tai suunnitteluvirheistä. Suomalaisten rakennusten kosteus- ja homevauriot voivat johtua lisäksi puutteista rakentamisen

laadun hallinnassa, rakennusosien vanhenemisesta tai puutteellisesta huollosta tai käyttövirheistä. Lisäksi rakennusten energiankulutuksen vähentämiseen tähtäävät kiristyvät energiamääräykset ja ilmastonmuutoksen aiheuttama kosteiden ja pitkien syysjaksojen mahdollinen yleistyminen kohottavat rakenteiden kosteusvaurioiden riskiä. (Pirinen 2010, 10, 15–16.)

Rakenteisiin pääsevä tai pinnoille tiivistyvä kosteus on yleisimpiä sisäilmaongelmien aiheuttajia. Materiaali homehtuu, kun ilman kosteus materiaalin pinnalla on yli 80 prosenttia. On tutkittu, että homeinen ilma aiheuttaa terveydellisiä haittoja. Puurakenteissa home voi lisäksi aiheuttaa lahoamista ja sitä kautta myös rakenteen heikkenemistä. (Säteri1995.)

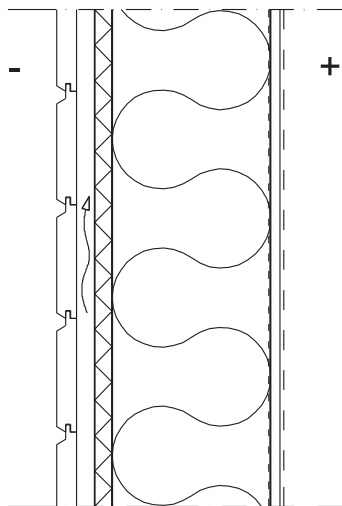
Tiukentuvat energiamääräykset aiheuttavat entistä suurempia haasteita suunnittelulle myös rakenteiden kosteusteknisessä toimivuudessa. Rakennusten energiatehokkuuden parantaminen kohti passiivitaloa asettaa omat ongelmansa kosteusteknisen toimivuuden suunnitteluun. (Jormalainen & Käkelä [viitattu 24.1.2012].)

2 RAKENTEET

2.1 Tarkasteltavat rakennetyypit

2.1.1 Ulkoseinärakenteet

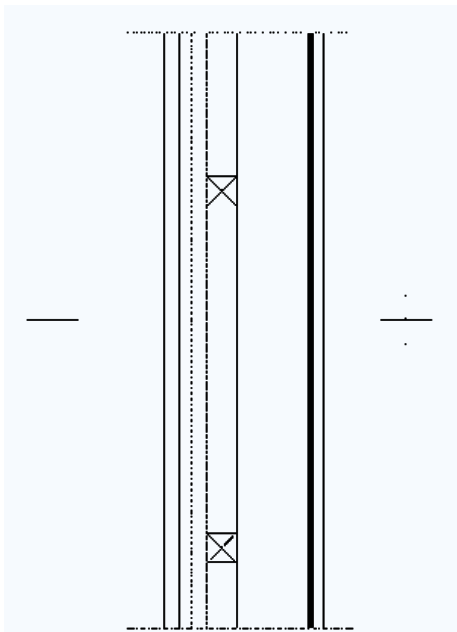
Kuvion 1 mukaisen puurunkoisen ulkoseinärakenteen rakenteet ovat ulkopuolelta sisäänpäin lueteltuna seuraavat: pintakäsittelykerros, ulkoverhouslauta (28 mm), tuuletusväli (25–28 mm) ja pystylaudat (k600), tuulensuojalevy (25 mm), kantava puurunkorakenne (48 x 223 mm k600) ja lämmöneriste (mineraalivilla 223 mm), ilman- ja höyrynsulku (0,2 mm) ja rakennuslevy (9-15 mm), joka voi olla esimerkiksi kartonkipintainen kipsilevy, sekä sisimpänä huoneselostuksen mukainen seinäpinta- ja pintakäsittelykerros. Rakenteen lämmönläpäisykerroin on $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$, joka täyttää Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C3 *Rakennusten lämmöneristys. Määräykset 2010* vaatimukset. (RT 82-11006 2010, 1, 24.)



Kuvio 1. Puurunkoinen ulkoseinä. Mineraalivillaeriste ja puuverhous. (RT 82-11006 2010, 24.)

Hengittävän rakenteen etuja tavalliseen sisäpinnalta tiiviiseen ja kaasuja diffuusiolla läpäisemättömään rakenteeseen ovat sen positiiviset vaikutukset

huoneilman kosteuteen: kosteuskuormituksen vaihdellessa huoneilmassa se tasaa huoneilman kosteuden vaihtelua. Tiivispintaiseen rakenteeseen verrattuna se alentaa olennaisesti huoneilman suhteellisen kosteuden enimmäisarvoa kosteuskuormituksen aikana, millä on merkitystä erityisesti lämpimänä vuodenaikana kun tuloilman kosteuspitoisuus on korkea. Se nostaa jonkin verran huoneilman kosteutta sekä kesällä että talvella myös kosteuskuormittamattomana aikana. Se myös alentaa huoneilman keskimääräistä suhteellista kosteutta, mikä on merkityksellistä erityisesti kesällä. (Kokko 2002, 18.)

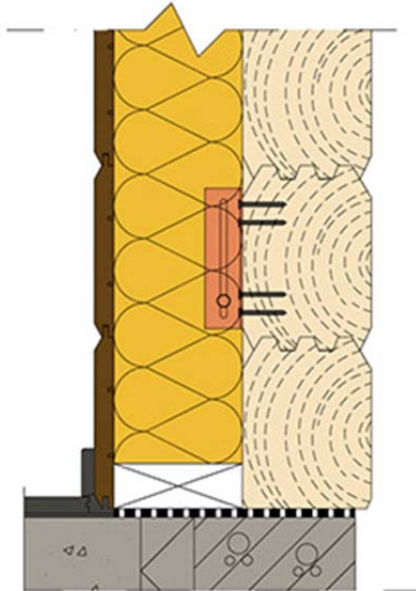


Kuvio 2. Esimerkki hengittävästä seinärakenteesta (Kokko 2002, 29).

Kuvion 2 hengittävän seinärakenteen rakennekerrokset ovat ulkoa sisäänpäin lueteltuna seuraavat: ulkoverhouslauta tai -levy, tuuletusväli (22 mm), vesihöyryä hyvin läpäisevä tuulensuojalevy (huokoinen puukuitulevy, 25 mm), vaakakoolaus ja puukuitueriste (50 mm), kantava runko ja puukuitueriste (125 mm), ilmansulkupaperi ja kipsilevy (13 mm) jonka pinnassa on diffuusiota läpäisevä maali tai tapetti. (Kokko 2002, 29.)

Hirsiseinän lämmönläpäisykertoimen vertailuarvo on $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$. 205 mm hirsiseinän lämmönläpäisykerroin on $0,53 \text{ W/m}^2\text{K}$. Eroa voidaan kompensoida parantamalla muiden rakennusosien lämmöneristyskykyä, esimerkiksi lisäämällä yksikerroksisen pientalon kohdalla 200 mm lisäeristys ryömintätalaisen alapohjaan. (Alasaarela 2008.)

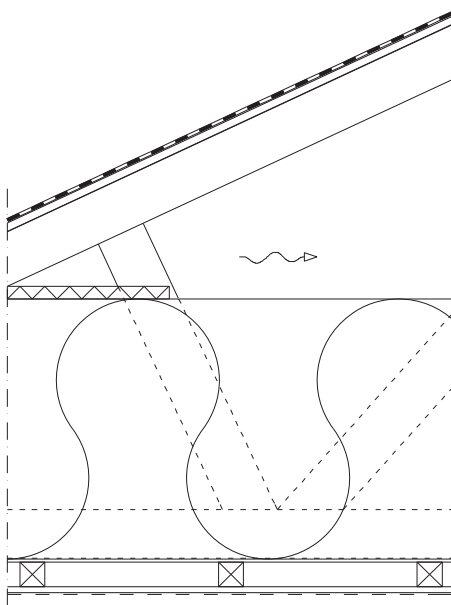
Kuviossa 3 esitetään sisäpuolelta lisälämmöneristetty hirsiseinärakenne. Hirsiseinän lisäeristäminen voi olla tarpeen, jos ei haluta käyttää kovin massiivista hirttä tai jos hirsitalossa asutaan ympäri vuoden (Eurohonka 2012).



Kuvio 3. Sisäpuolelta lisälämmöneristetty hirsiseinärakenne (Eurohonka 2012).

2.1.2 Yläpohjarakenteet

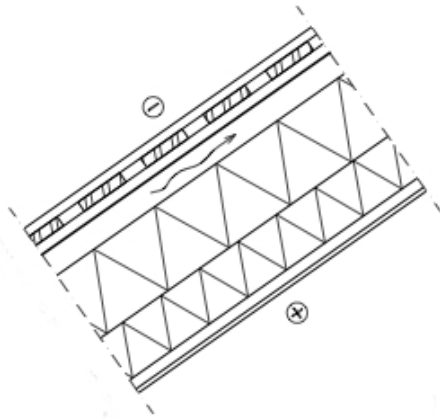
Kuvion 4 mukaisen yläpohjan rakennekerrokset ovat seuraavat ulkoa sisäänpäin lueteltuina: vesikate, esimerkiksi bitumikermikate ja rakennuslevy (15 mm) rakennesuunnitelman mukaan, yli 100 millimetrin tuuletusväli ja kantava ristikkorakenne, tuulensuoja 1,2 metriä leveällä reunakaistalla tai tuulenohjain, lämmöneriste (puukuituvillaa, 525 mm), ilman- ja höyrynsulku, rakennuslevy (6 mm), puukoolaus (vähintään 44 mm) ja huoneselosteen mukainen kattoverhous ja pintakäsittely. Rakenteen lämmönläpäisykerroin on $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$. (RT 83-11010 2010, 19.)



Kuvio 4. Ristikkorakenteinen, puukuituvillalla eristetty yläpohjarakenne (RT 83-11010 2010, 19).

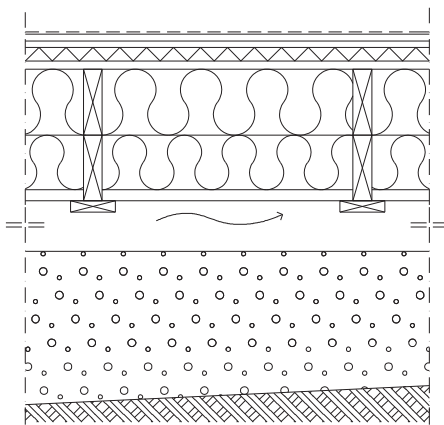
SPU-eristeiset rakenteet eivät edellytä erillistä höyryn- ja ilmansuojakerrosta SPU-eristelevyjen alhaisen lämmönjohtavuuden ja korkean vesihöyryn vastuksen ansiosta. Levyjen liitoskohtien tiiviys varmistetaan saumavaahdolla, joka tekee rakenteesta erittäin ilmatiivii. Rakennusvaiheessa tai rakenteeseen muuten vahingossa päässyt kosteus ei vahingoita eristettä, sillä SPU-eristeillä on korkea kosteudenkestokyky. (SPU-eristeet [viitattu 23.2.2012].) Lisäksi SPU-eristeet ovat lähes täysin ei-hygroskooppisia (Jormalainen & Käkelä [viitattu 23.2.2012]).

Kuvion 5 mukaisen palkkirakenteisen yläpohjan rakennekerrokset ovat seuraavat ulkoa sisäänpäin lueteltuina: kate, ruodelaudoitus, korokerimat ja aluskate, vähintään 50 millimetrin tuuletusväli, rakennesuunnitelman mukaiset kattokannattajat (k 900) ja polyuretaanilevyeriste (SPU AL, 150 mm) joka vaahdotetaan runkoon, polyuretaanieriste (SPU AL, 100 mm, saumat vaahdotetaan) ja alimpana koolaus ja sisäverhouslevy. Rakenteen lämmönläpäisykertoimen arvo on $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$. (SPU-eristeet 2011.)



Kuvio 5. SPU-eristetty palkkirakenteinen yläpohja (SPU-eristeet 2011).

2.1.3 Alapohjarakenteet



Kuvio 6. Palkkirakenteinen ryömintätilallinen alapohja, jossa kelluva pintalevytys (RT 83-11009 2010, 25).

Kuvion 6 mukaisen alapohjarakenteen rakennekerrokset ovat seuraavat sisältä ulospäin lueteltuina: lattiapäällyste ja pintakäsittely, rakennuslevy (kaksinkertainen lattiakipsilevy, 30 mm), askelääneneristyslevy (30 mm), ilman- ja höyrynsulku sekä ympäripontattu havuvaneri liima- ja ruuvikiinnityksellä (18 mm), kantava rakenne rakennesuunnitelman mukaan – esimerkiksi vaarnapalkki – ja mineraalivillaeriste (294 mm), kosteudenkestävä jäykkä puukuitulevy tuulensuojalevynä (25 mm), harvalauditus lattiakannattajien alapinnassa (25 mm), ryömintätila, jonka korkeus yli 800 mm, salaojituseros, suodatinkangas ja perus- tai täyttömaa. (RT 83-11009, 25.)

2.2 Rakenteiden kosteustekninen toiminta

Rakennuksen tulee kokonaisuudessaan toimia siten, ettei sisäisistä ja ulkoisista kosteudenlähteistä peräisin oleva kosteus pääse tunkeutumaan rakenteisiin tai rakennuksen sisätiloihin ja aiheuta haittaa. Rakenteiden tulee tarvittaessa kyetä kuivumaan ongelmitta, tai vaihtoehtoisesti on rakenteen kuivattamiseksi esitettävä rakennuksen suunnitelmissa menetelmä. Pinnoiltaan kastuvien materiaalien on kestettävä veden vaikutus ja veden valuminen rakenteisiin tai niiden läpi on estettävä. Lisäksi rakennuksen vaipan ja sen yksityiskohtien tulee olla ilmavirtausten suhteen niin tiiviitä, että rakennus on mahdollista pitää pääsääntöisesti alipaineisena. Rakennuksen ulkopinnan tulee suojata rakenteita myös tuulen vaikutuksesta sinne joutuvalta kosteudelta. (RT RakMK-21099 1999, 4.)

2.2.1 Kosteuden lähteet

Kosteutta voi joutua rakenteisiin sekä ulkoa että sisältä. Ulkoisista kosteudenlähteistä olennaisin on sade. Suomessa sataa vuosittain vettä noin 600 mm. Talvella vesi sataa yleensä lumena. Vaikka sateen suunta on painovoiman ansiosta suoraan alaspäin, tuulen aiheuttaman sivuttaisvoiman johdosta ne saattavat rasittaa vaakapintojen lisäksi myös pystypintoja. Tuuli voi aiheuttaa veden ja lumen siirtymisen myös ylöspäin. (Sisäilmayhdistys 2008a.)

Rakennuksia rasittavista kosteuslähteistä pitkäkestoisin on maaperän kosteus. Myös ulkopuolelta tulevat pintavedet rasittavat rakennusta, mistä johtuen maan pitäisi kallistua rakennuksesta pois päin vähintään 1:20 kaltevuudella kolmen metrin matkalla. Lisäksi ulkoilma on yksi ulkoinen kosteudenlähde: ulkovaippaa ympäröivän ulkoilman kosteuspitoisuus on kesällä korkeimmillaan noin 14 g/m^3 ja talvella alhaisimmillaan noin 1 g/m^3 . (Sisäilmayhdistys 2008a.)

Sisäpuolisia kosteudenlähteitä ovat esimerkiksi siivoaminen ja peseytyminen. Siivousvesi aiheuttaa rakenteille kosteuskuorman, ja veden tulisi ehtiä haihtua rakenteista ennen kuin rakenteet ehtivät vaurioitua. Peseytyminen kohottaa jonkin verran sisäilman kosteuspitoisuutta, mutta suurin osa vedestä poistuu vapaasti

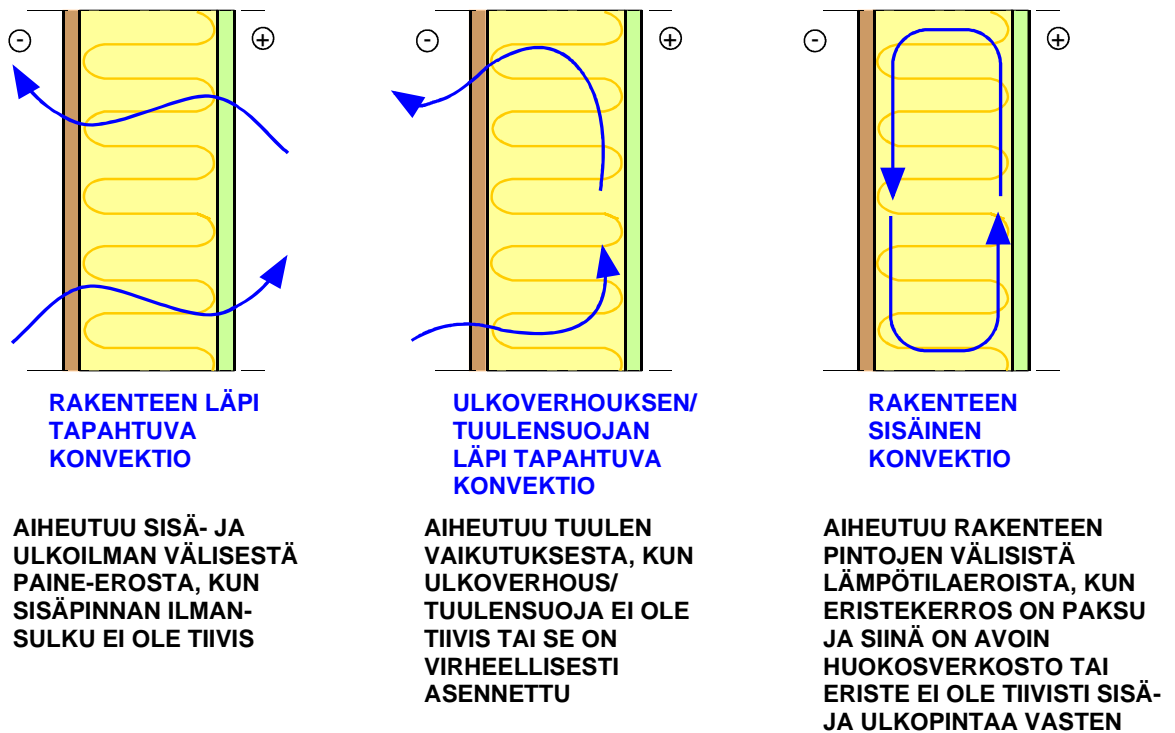
pintoja ja viemäriputkistoja pitkin. Viemäriputkistojen sekä vesi- ja lämmitysputkistojen vaurioista ja vuodoista johtuen voi rakenteisiin joutua vettä haitallisen paljon. (Sisäilmayhdistys 2008a.)

Rakennusmateriaalien valmistusprosessin ja varastoinnin sekä rakentamisen yhteydessä rakennusmateriaaleihin voi jäädä rakennuskosteutta, jonka tulee poistua rakenteesta rakentamisen jälkeen ennen kuin rakenne voi saavuttaa kosteustasapainon ympäristönsä kanssa. (Sisäilmayhdistys 2008a.)

2.2.2 Kosteuden siirtyminen rakenteissa

Rakennuksen kosteusteknisestä toiminnasta suurin osa perustuu veden painovoimaiseen siirtymiseen. Painovoiman vaikutuksesta vesi pyrkii kulkemaan koko ajan alaspäin. Vesi voi kulkeutua rakenteisiin myös kapillaarivirtauksena. Rakenteen kyky siirtää kosteutta kapillaarisesti riippuu rakenteen materiaalista: materiaalien kyky siirtää kosteutta vaihtelee eri materiaalien välillä, ja samankin materiaalin veden kapillaarinen siirtymänopeus voi vaihdella riippuen materiaalin huokosjakaumasta. Rakenteisiin voi johtua vettä myös vesihöyryn diffuusion kautta. Diffuusiovirtauksen voimakkuuteen vaikuttaa vesihöyrynpitoisuuserot rakenteen eri puolilla sekä materiaalien vesihöyrynläpäisevyys. Yleensä diffuusion suunta on sisältä ulospäin, koska yleensä sisäilmassa on enemmän kosteutta kuin ulkoilmassa. Vettä voi siirtyä rakenteisiin myös kosteuskonvektion kautta. (Sisäilmayhdistys 2008b.)

Kuviossa 7 on esitetty erilaisia ulkoseinässä tapahtuvia konvektiovirtauksia. Konvektiolla rakenteeseen voi siirtyä moninkertainen määrä kosteutta diffuusioon verrattuna. Tärkeintä on estää rakenteen läpi kulkevat konvektiovirtaukset. (Vinha 2008, 7.)



Kuvio 7. Erilaisia ulkoseinissä tapahtuvia konvektiovirtauksia (Vinha 2008, 7).

Rakenteen sisäinen konvektio ei sinänsä lisää kosteutta rakenteessa, mutta se vaikuttaa rakenteen kosteusjakaumaan erityisesti pystyrakenteissa. Kosteus kulkee ilmavirran mukana rakenteen kylmiin kohtiin. Konvektion aiheuttama kosteuden kerääntyminen tiettyihin rakenteen kohtiin johtuu eristekerroksen virheistä. (Hyvärinen & Ojanen 2008, 5.)

Rakennusmateriaalien hygroskooppisuudella on myös merkitystä kosteuden siirtymisessä rakenteissa. Rakennusmateriaalit pyrkivät saavuttamaan hygroskooppisen tasapainon ilman suhteellisen kosteuden kanssa. Rakenteiden hygroskooppinen tasapaino määräytyy ympäröivän ilman kosteuspitoisuuden ja lämpötilan mukaan: matalassa lämpötilassa materiaaliin sitoutuu enemmän kosteutta kuin lämpimässä. Ilman suhteellisen kosteuden ollessa alhainen myös materiaalin kosteus on alhainen. Kun ilman suhteellinen kosteus kasvaa, materiaali kostuu. Eri rakennusmateriaalien hygroskooppiset ominaisuudet vaihtelevat. Vesihöyryä hyvin läpäisevät materiaalit asettuvat vesihöyryä huonosti läpäiseviä materiaaleja nopeammin hygroskooppiseen tasapainoon ympäristönsä kanssa. (RT 05-10710 1999, 3–4.)

2.2.3 Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen toimivuus

Ulkoseinärakenteiden kosteusteknisen toimivuuden edellytys on, että ulkoseinärakenne on suunniteltu niin, ettei rakenteisiin kerry niin paljon kosteutta sisäilman vesihöyryn diffuusion tai konvektion seurauksena, että siitä olisi haittaa rakenteessa. Rakennuskosteuden lisäksi myös rakenteisiin satunnaisesti joutuvan kosteuden tulee kyetä haihtumaan rakenteesta niin, ettei se aiheuta rakenteelle vaurioita. (RT RakMK-21099 1999, 7.)

Suomen ilmasto-olosuhteissa parhaiten toimivaksi ratkaisuksi ulkoseinärakenteissa on havaittu erillinen ulkoverhous ja sen takana oleva tuuletusväli. Ulkoverhouksen läpi mahdollisesti vuotava vesi ei tuuletusvälin ansiosta joudu rakenteisiin, ja samalla tuuletusväli mahdollistaa rakenteen kuivumisen. Puurankarakenteisissa ulkoseinissä on aina oltava tuuletusrako. (Vinha 2008, 16.)

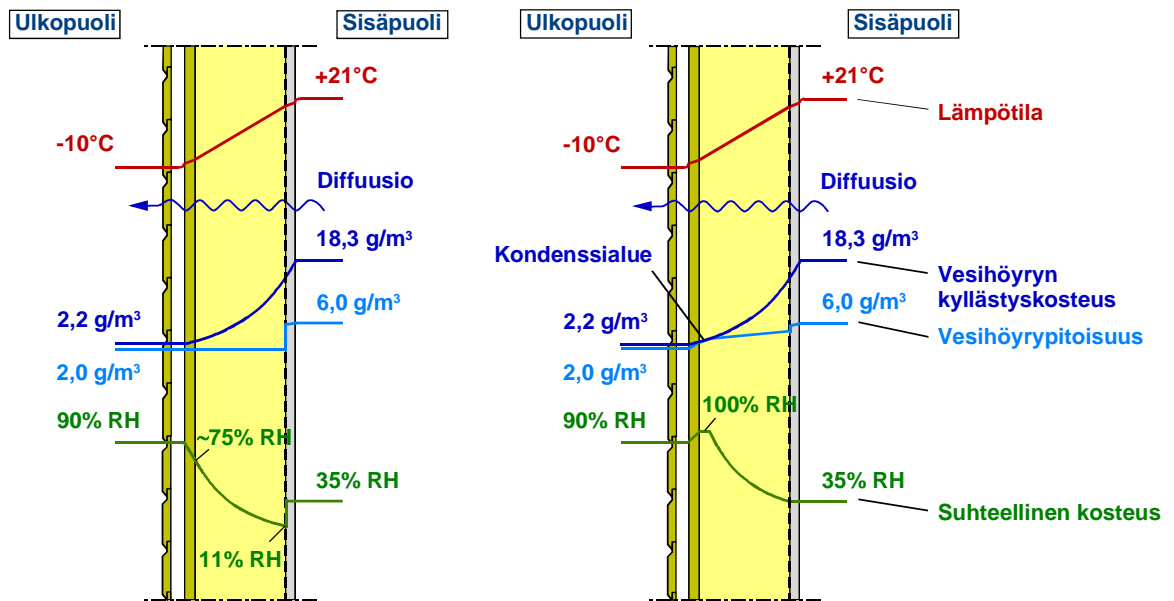
Tuuletusvälin pitää olla ainakin ylä- ja alaosaan auki ulkoilmaan, eikä ilman virtausta tuuletusvälissä saa estää (RT 82-11006 2010, 2).

Rankarakenteisissa ulkoseinärakenteissa on tuuletusraon ja lämmöneristeen kylmän puolen päälle sijoitettava erillinen tuulensuoja, jonka vesihöyrynvastus on riittävän pieni niin, että sisältäpäin rakenteisiin tuleva kosteus tai rakenteisiin muuten päätynyt kosteus pääsee haihtumaan sen läpi. Avohuokoisen lämmöneristyskerroksen sisäpuolisen rakennekerroksen vesihöyrynläpäisevyys tulee olla vähintään viisinkertainen verrattuna lämmöneristyskerroksen kylmällä puolella olevan rakennekerroksen vesihöyrynläpäisevyyteen. Tarvittaessa käytetään höyrynsulkua. Tästä voidaan poiketa, jos rakenne on todettu muutoin kosteusteknisesti toimivaksi. (RT RakMK-21099, 1999, 7.)

On suositeltavaa, että höyrynsulku sijoitetaan rakenteeseen niin, että vähintään kolme neljäsosaa lämmöneristeestä on sen ulkopuolella (Vinha 2007, 276).

HÖYRYNSULULLINEN SEINÄ

KOSTEUTTA LÄPÄISEVÄ SEINÄ



Kuvio 8. Periaatekuva höyrinsulullisesta ja kosteutta läpäisevän puurunkoisen seinän kosteusteknisestä toiminnasta talviolosuhteissa (Vinha 2008, 3).

Kuviossa 8 on esitetty kosteutta läpäisevän ja höyrinsulullisen seinärakenteen kosteusteknisestä toimivuudesta talviolosuhteissa. Tekniikan tohtori Juha Vinhan mukaan kosteutta läpäisevä seinä on riskialttiimpi kosteus- ja homevaurioille kuin höyrinsulullinen seinä (Rautiainen 2002).

Kun ulkoseinä toteutetaan hengittävänä rakenteena, tulee se suunnitella siten, että sekä lämmöneristeen että hygroskooppisten pintamateriaalien osallistuminen huoneilman kosteuden hallintaan on mahdollista ja että rakenne on kosteusteknisesti turvallinen. Kosteusteknisesti turvallisen hengittävän puurunkoisen ulkoseinän suunnittelussa ja mitoituksessa tulisi ottaa huomioon seuraavat asiat: rakenteen sisäpuolisen kerroksen höyrynvastuksen tulisi olla pienimmillään lämpimimpään vuodenaikaan, jolloin huoneilman suhteellinen kosteus on korkeimmillaan, niin että rakenne pystyy tehokkaasti tasaamaan huoneilman kosteuden vaihtelua ja "estää ilmanvaihdosta riippumattomasti suhteellisen kosteuden nousun haitallisen korkeaksi". Kylmänä vuodenaikana, kun sisäilman suhteellinen kosteus on matalimmillaan ja ulkoilman korkeimmillaan, ei huoneilman vesihöyryn diffuusio vaippaan saa aiheuttaa haitallisen kosteuden kertymistä puukuitueristeeseen ulkoseinärakenteeseen, erityisesti

tuulensuojakerroksen sisäpintaan. Lisäksi rakennesuunnittelussa voidaan hyödyntää ilmansulkupaperin, puu- ja puupohjaisten rakennusmateriaalien kykyä kasvattaa niiden höyrynläpäisevyyttä suhteellisen kosteuden kasvaessa. (Kokko 2002, 28.)

Kosteustekniseltä kannalta tarkasteltuna turvallinen rakenneratkaisu on massiivirakenne, kuten hirsiseinä, sillä massiivirakenteissa ei ole rajapintoja, joihin kosteus voisi tiivistyä (Vinha ym. 2008, 50). Puu on hygroskooppinen materiaali, joka kykenee vastaanottamaan ja luovuttamaan kosteutta, ja asettuu kosteustasapainoon ympäröivän ilman kanssa ilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mukaan. (Puuinfo [viitattu 4.3.2012].)

2.2.4 Yläpohjarakenteiden kosteustekninen toimivuus

Yläpohja suunnitellaan ja toteutetaan siten, ettei sinne kerry haitallisen paljon vesihöyryn diffuusion tai ilmavirtausten aiheuttamaa kosteutta, ja että rakenteisiin päässyt kosteus voi tarvittaessa kuivua. Yläpohjan ilman- ja höyryntiiviys varmistetaan sijoittamalla yläpohjan lämmöneristyksen sisäpintaan höyrynsulku tai höyrynsulkuna toimiva ainekerros, joka voidaan tiivistää tarvittaessa myös ilmansuluksi. Vaihtoehtoisesti voidaan yläpohjaan sijoittaa tarkoituksenmukaiseen kohtaan ilmansulku tai ilmansulkuna toimiva ainekerros, joka estää ilman virtauksen rakenteen läpi. Lappeen suuntaisesti eristettyjen harjakattojen tuuletus järjestetään niin, että räystäiden lisäksi tuuletusväli tuulettuu joko harjan tai päädyissä olevien tuuletusaukkojen kautta ja tuuletusväli on avoin koko suunnitellulla virtaustiellä sisääntulokohdasta poistumiskohtaan. Kylmien ullakkotilojen tai muiden tuuletustilojen tuulettuminen varmistetaan tuuletusaukoin, joiden pinta-alan tulee olla vähintään neljä promillea yläpohjan pinta-alasta. (RT RakMK-21099 1999, 14.)

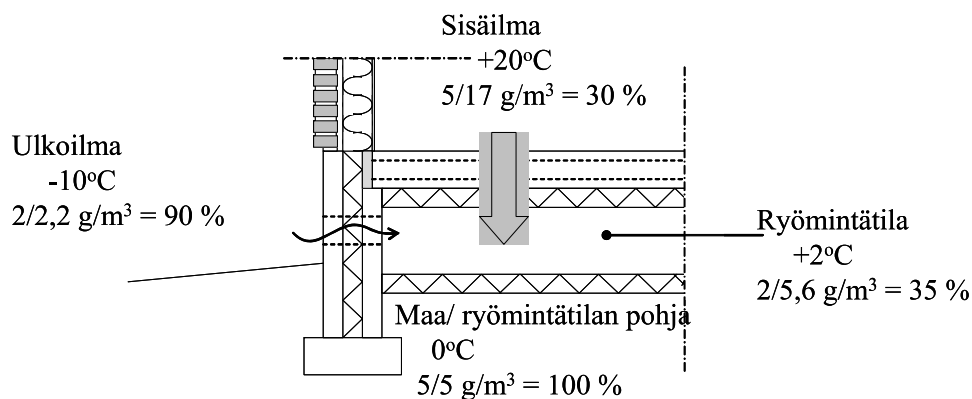
RIL-107:n mukaan tuuletusvälillä varustetun vesikaton tuuletuksen ohjearvojen mukaiset tuuletusvälien korkeudet ovat normaaleissa huonetiloissa seuraavat: Katon kaltevuuden ollessa alle 3 astetta tuuletusvälin korkeus tulisi olla vähintään 200 millimetriä. Kattokaltevuuden ollessa 3-11 astetta tuuletusvälin korkeuden

tulisi olla vähintään 100 millimetriä. Kun kattokaltevuus on yli 11 astetta, tuuletusvälin korkeudeksi riittää 75 millimetriä. (Sisäilmayhdistys 2008c.)

2.2.5 Alapohjarakenteiden kosteustekninen toimivuus

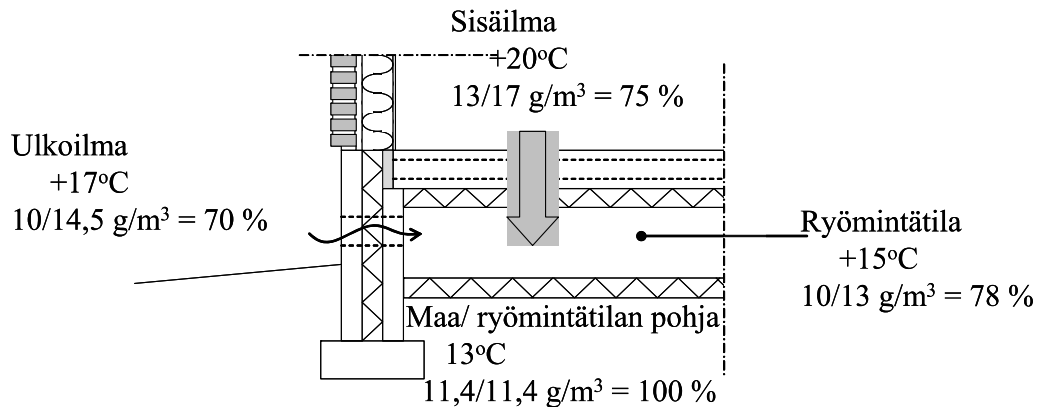
Alapohjan alapuolinen ryömintätila tulisi suunnitella ja toteuttaa niin, ettei ryömintätilaan kerry vettä ja että tila tuulettuu riittävästi eikä tilaan kertyvästä kosteudesta ole haittaa rakenteille. Ryömintätilan täytyy olla järjestetty siten, että se voidaan tarkastaa tarvittaessa, eikä siellä saa olla rakennusjätettä tai lahoavia orgaanisia aineita. Ryömintätilan korkeuden tulee olla vähintään 0,8 metriä ja tuuletusaukkojen yhteenlasketun vapaan pinta-alan neljä promillea alapohjan pinta-alasta. Tuuletusaukkojen alareunan tulee lisäksi olla vähintään 150 millimetriä maapinnan yläpuolella, yhden aukon pinta-alan tulee olla vähintään 150 neliösenttimetriä ja aukkojen enimmäisvälin enintään kuusi metriä. (RT RakMK-C2, 1999, 6–7.)

Ryömintätilalle tyypilliset olosuhteet talvioloissa on kuvattu kuviossa 9. Alapohjan läpi tuleva lämpövuoto ja pohjamaan ulkoilmaa korkeampi lämpötila pitää ryömintätilan lämpötilan korkeampana kuin ulkoilman lämpötilan. Maapohjasta ei juurikaan tule lisäkosteutta ryömintätilaan. Ryömintätilan suhteellinen kosteus on alhainen. Näissä olosuhteissa ryömintätila toimii kosteusteknisesti hyvin. (Vinha ym. 2008, 29.)



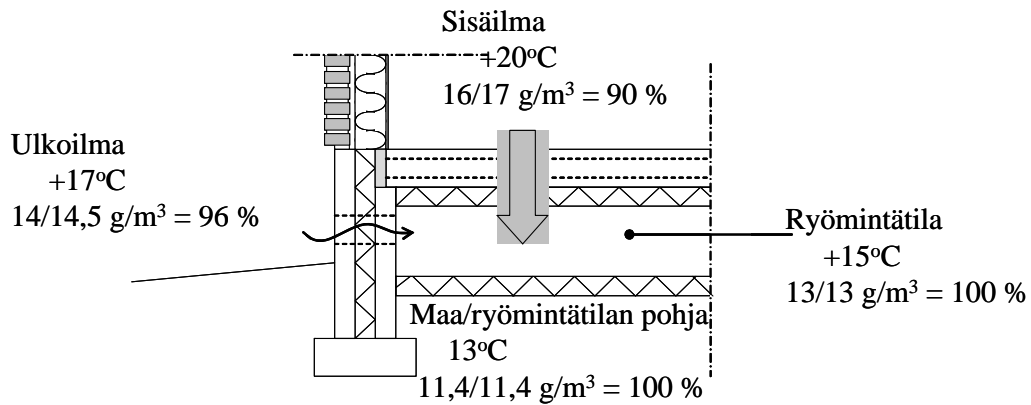
Kuvio 9. Tyypilliset ryömintätilan olosuhteet talvella (Vinha ym. 2008, 29).

Kuviossa 10 esitetään, kuinka kesällä ulkolämpötilaa alhaisempi pohjamaan lämpötila viilentää jonkin verran ryömintätilaa ja siksi ryömintätilan lämpötila on ulkoilman lämpötilaa alhaisempi. Ryömintätilan kosteuteen vaikuttaa ilman ulkoilman kosteuden lisäksi maapohjan kosteus, ja ryömintätilan suhteellinen kosteus on suuri. Suhteellinen kosteus ei kuitenkaan ylitä sitä kriittistä kosteutta, jossa mikrobien kasvu olisi mahdollinen. (Vinha ym. 2008, 30.)



Kuvio 10. Tyypilliset ryömintätilan olosuhteet kesällä (Vinha ym. 2008, 30.)

Sateisena kesänä ryömintätilan suhteellinen kosteus voi kuitenkin nousta niin korkeaksi, että ryömintätilassa vallitsee kyllästystila ja pinnoille alkaa kondensoitua kosteutta, kuten kuvio 11 osoittaa. Ulkoilma on erittäin kosteaa. Maapohjan peittäminen ei alenna ryömintätilan kosteutta, sillä ryömintätilan ja maapohjan kosteus on yhtä suuri, eikä maapohja tällaisessa tapauksessa ole kosteuslähde. Ryömintätilan kosteusolosuhteita ei tässä tilanteessa voida parantaa millään rakenteellisella ratkaisulla, kuten tuuletusaukkojen määrää lisäämällä tai maapohjan peittämisellä, vaan ainoastaan koneellisella kuivatuksella tai ryömintätilan lämmityksellä ja silloinkin maapohjan kosteuden siirtyminen ryömintätilaan tulee olla estetty. (Vinha ym. 2008, 30.)



Kuvio 11. Ryömintätilan olosuhteet sateisena kesänä (Vinha ym. 2008, 31).

Vinhan ym. (2008) mukaan on ryömintätilainen alapohja riskirakenne ja etenkin puurakenteisissa ryömintätilallisissa alapohjaratkaisuissa jopa puun lahoaminen on mahdollista, sillä ryömintätilaisen alapohjan olosuhteet ovat ajoittain otolliset lahottajasienille. Lisäksi maaperästä johtuen esiintyy alapohjassa ajoittain homeen kasvulle otollisia olosuhteita, ja koska rakennuksen alaosissa yleensä vallitseva alipaine mahdollistaa mikrobien kulkeutumisen sisään vuotokohtien kautta, alapohjan tiiviys rakenteen toiminnan kannalta on ensisijaisen tärkeää. (Vinha ym. 2008, 33–34.)

2.3 Liitokset ja läpiviennit

Ilmansulun ja ilmansulkuna toimivan höyrynsulun kaikki liitokset teipataan ja tiivistetään. Ulkoseinien liitokset sokkeliin ja maanvastaisiin perustuksiin on suunniteltava ja toteutettava niin, ettei haitallinen kosteus pääse siirtymään ja kertymään seinärakenteisiin ja että seinän alaosa pääsee tarvittaessa kuivumaan. (RT RakMK-21099 1999, 7, 8.)

2.4 Laitteet ja putket

Putket ja laitteet, joiden mahdollinen vahinko voi aiheuttaa vesivuodon, on suunniteltava ja sijoitettava rakennuksessa siten, että mahdollinen vesivuoto voidaan havaita ajoissa niin, ettei se ehdi aiheuttaa vakavaa vesi- tai kosteusvahinkoa. Laitteissa ja putkissa kulkeva vesi on suojattava jäätymiseltä ja

veden tiivistyminen laitteiden ja putkien pintaan on estettävä tai pinnoille tiivistyvä vesi on muutoin johdettava pois haittaa aiheuttamatta. (RT RakMK-21099 1999, 4, 11.)

3 RAKENTEIDEN KOSTEUSTEKNISEEN TOIMINTAAN VAIKUTTAVAT RISKITEKIJÄT

3.1 Rakenteiden kosteusvaurioituminen

3.1.1 Kosteusvaurioitumisen syyt ja mekanismi

Kosteusvauriot johtuvat yleensä suunnitteluvirheestä tai suunnitelman puutteesta, rakennusvirheestä, puutteista rakentamisen laadussa, rakennusosien vanhenemisesta tai puutteellisesta huollosta tai käyttövirheistä (RT 05-10710, 1).

Kun rakenteeseen tulee kosteutta enemmän kuin sieltä ehtii poistua, rakenteen kosteuspitoisuus nousee. Kun rakenteen kosteuspitoisuus on liian korkea liian kauan, tapahtuu kosteusvaurioituminen. Kosteusvaurioitumiseen vaikuttaa ajan ja kosteuden lisäksi myös materiaali. Eri materiaalien kyky sietää kosteutta vaihtelee. Lisäksi lämpötilan nousu usein nopeuttaa kosteusvaurioitumista. (Sisäilmayhdistys 2008d.)

Esimerkiksi jos rakenteeseen pääsee rakenteen sisäpuolelta vesihöyryä diffuusiolla enemmän kuin rakenteesta ehtii poistua, kosteusvaurioituminen on mahdollista. Kylmänä vuodenaikana rakenteeseen voi tiivistyä haitallisessa määrin kosteutta. (Sisäilmayhdistys 2008b.) Vinhan mukaan syksy on jopa talvea kriittisempää aikaa kosteusvaurioiden kannalta (Rautiainen 2002). Rakennustietosäätiön mukaan home- ja muu mikrobikasvu alkaa, kun suhteellinen kosteus on jatkuvasti yli 70–75 prosenttia ja lämpötila on +10–+55 celsiusastetta. (RT 05-10710 1999, 6). Taulukossa 1 esitetään rakenteiden homehtumisriski lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mukaan.

Taulukko 1. Rakennusosien homehtumisriski lämpötilojen ja suhteellisen kosteuden mukaan (RT 05-10710 1999, 6).

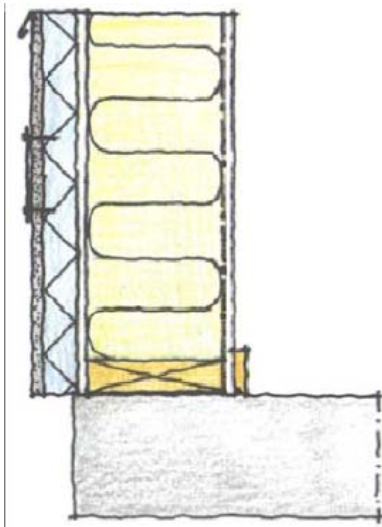
Rakennusosa	Homehtumisriski			
	suhteellinen kosteus < 70 %	70...80 %	80...90 %	> 90 % ja kapillaarialue
Rakennuksen ulkovaipan sisäosat, väliseinät ja väli- pohjat	vähäinen, vaikka kosteusrasitus on jatkuva	vähäinen, jos kosteusrasitus esiintyy lyhyinä jaksoina	*vähäinen, jos kosteusrasitus esiintyy lyhyinä jaksoina	rakennusosa on pääsääntöisesti korjattava, ellei kosteuspitoisuus esiinny vain lyhyinä jaksoina, esimerkiksi märkätilojen sisäpinnoilla
Rakennuksen ulkovaipan ulko-osat	vähäinen, vaikka kosteusrasitus on jatkuva	vähäinen, jos kosteusrasitus esiintyy lyhyinä jaksoina tai pidempiaikaisesti vuoden kylmimpänä aikana	*vähäinen, jos kosteusrasitus esiintyy lyhyinä jaksoina tai kylminä vuodenaikoina	*rakennusosa on pääsääntöisesti korjattava, jos kosteuspitoisuus esiintyy pitkänä jaksolina, ellei rakenteen lämpötila ole samanaikaisesti alle 0 °C.

*Edellyttää laskennallista analyysiä.

Toisaalta Puuinfon mukaan puun kosteusvaurioituminen alkaa, jos puun kosteus pysyttelee pitkään yli 20 prosentissa. Ilman suhteellinen kosteus on tällöin yleensä yli 80–90 prosenttia, mutta jo yli 70 prosentin suhteellista kosteutta voidaan pitää kriittisenä. Puu alkaa homehtua, kun ilman suhteellinen kosteus on riittävän pitkään, muutaman kuukauden ajan, yli 80 prosenttia. Homeen kasvun edellytyksenä on kuitenkin, että lämpötila on +0—+40 astetta. Siksi puu ei homehdu talvella, vaikka ilman suhteellinen kosteus olisikin pitkiä aikoja yli 80 prosenttia. (Puuinfo [viitattu 4.3.2012].)

Myös sisäilmayhdistyksen mukaan puun lahoaminen voi alkaa, kun puun kosteus on noin 20 prosenttia ja lämpötila yli +0 astetta. Useimmat lahottajasienet kasvavat nopeimmin +15—+20 asteen lämpötilassa. (Sisäilmayhdistys 2008e.)

Ruotsissa on viimeisten kymmenen vuoden aikana rakennettu ainakin 25000 taloa, jotka ovat alttiita homevaurioille. Puurankarakenteisten talojen julkisivussa on käytetty ohutrappausta ilman tuuletusrakoa. Rakenne on osoittautunut erittäin riskialttiiksi: lähes kaikki viisisataa tutkittua taloa on todettu homevaurioituneiksi. (Grahns 2008.) Ruotsissa käytetyissä kuvion 12 mukaisissa homevaurioille alttiissa ulkoseinärakenteissa käytettiin ohutrappauksen alla eristelevyä, joko EPS-levyä tai kovaa mineraalivillalevyä, joka oli kiinnitetty suoraan tuulensuojalevyyn. Tuulensuojalevyn sisäpuolella oli puurunko ja mineraalivilla, sitten höyrynsulkumuovi ja lopuksi sisäverhouslevy. (Mattila 2011, 3.)



Kuvio 12. Ruotsissa käytetyn ulkoseinärakenteen leikkauskuva (Mattila 2011, 3).

Aamulehti kertoo, että Suomessa VTT tutki Finndomon valmistamien talojen tuulettuvia alapohjia vuonna 2007 ja 2008. Tutkimuksen kohteena olivat kaksi Hämeenlinnan asuntomessuille valmistunutta Finndomon taloa. Testissä asennettiin tutkittavien kohteiden alapohjan ryömintätilaan Woods DS15-kuivauslaitteet. Testin aikana molempien messutalojen alapohjaan kasvoi homea. Kuivauslaite todettiin Suomen olosuhteisiin riittämättömäksi: se jäätty talvella. VTT:n tutkimuksen mukaan alapohjan tuuletusaukkojen pinta-ala oli kuitenkin riittävä. Tutkimuksen tulokset olivat alun perin yhtiön pyynnöstä salaisia. (Koponen 2010.)

Myös esimerkiksi väärin säädetty ilmanvaihto voi aiheuttaa kosteusongelmia: se voi johtaa suuriin paine-eroihin rakennuksen eri osissa. Sisäpuolinen ylipaine voi siirtää merkittäviä määriä kosteutta rakenteisiin pienenkin vuotokohdan läpi, vaikka rakennuksen tiiviys muuten olisikin hyvä. Kosteusongelmat ovat mahdollisia myös alipaineen vaikutuksesta, koska viileä ulkoilma jäähdyttää vaipan sisäosia ja sisäpintaa, jolloin sisäilman kosteus voi aiheuttaa homeen kasvulle suotuisat olosuhteet vaipan sisäpuolisissa osissa. (Vinha ym. 2008, 13.)

Vaikka Suomessa pientalojen koneellinen jäähdytys on vielä verrattain harvinaista, on todennäköistä, että lämmöneristysmääräysten kiristymisestä ja ilmastomuutoksesta johtuen talojen koneellinen jäähdytys tulee lisääntymään.

Suomen olosuhteissa ei kesäaikainen jäähdytys heikennä vielä rakenteiden kosteusteknistä toimintaa merkittävästi. Tilanne saattaa kuitenkin muuttua, mikäli kesälämpötilat ja ilman kosteuspitoisuus nousevat ja kosteusvirran suunta on pitkiä aikoja ulkoa sisälle päin. (Vinha ym. 2008, 82.)

3.1.2 Kosteuden aiheuttamat vauriot

Kosteuden aiheuttamia vaurioita ovat esimerkiksi mikrobiologiset vauriot, kuten homehtuminen ja lahoaminen, sekä kemialliset ja fysikaaliset vauriot, kuten aineiden hajoaminen ja muodonmuutokset (Sisäilmayhdistys 2008c). Home ei heikennä puun lujuutta, sillä se ei pysty tunkeutumaan puun pintaa syvemmälle (Puuinfo [viitattu 4.3.2012]).

3.2 Kesällä 2012 voimaan astuvat tiukentuvat energiamääräykset

EU-direktiivi rakennusten energiatehokkuudesta edellyttää, että vuoden 2020 loppuun mennessä kaikki uudet rakennukset ovat lähes nollaenergiarakennuksia ja että jäsenvaltiot laativat kansalliset suunnitelmat nollaenergiatalojen lukumäärän kasvattamiseksi (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU, 9 artikla).

1.7.2012 astuvat voimaan uudet rakentamisen energiamääräykset, joiden myötä rakentamisessa siirrytään kokonaisenergiatarkasteluun ja jotka helpottavat vaiheittaista siirtymistä kohti EU-direktiivin edellyttämää lähes nollaenergiarakentamista. Rakennusten energiatehokkuuden tarkastelussa siirrytään käyttämään rakennuksen kokonaisenergiakulutuksen ilmaisevaa E-lukua, jonka laskentaan vaikuttaa muun muassa rakennuksessa käytettävän energian tuotantomuoto ja rakennuksen pinta-ala. Uusien määräyksien tavoite on vähentää uudisrakennusten energiankulutusta noin 20 prosenttia. Uudet määräykset koskevat vain uudisrakentamista. (Ympäristöministeriön tiedote 2011.)

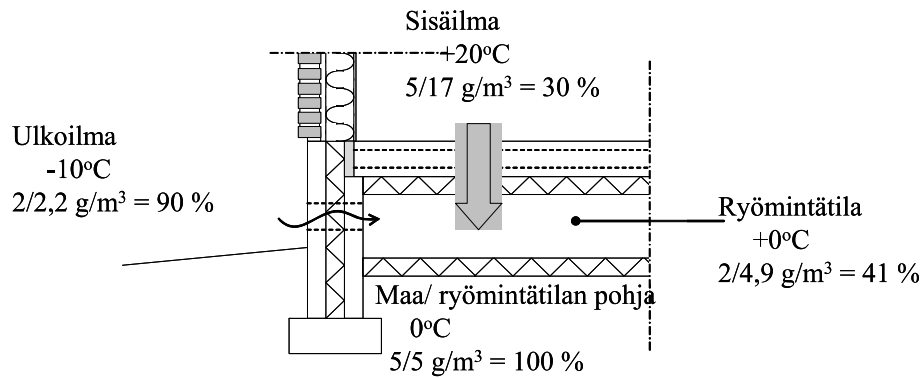
3.2.1 Tampereen teknillisen yliopiston tutkimus matalaenergiarakenteiden toimivuudesta

Tampereen teknillisen yliopiston rakennustekniikan laitoksen tekemän tutkimuksen mukaan vaipparakenteiden kosteustekninen toiminta heikkenee, kun lämmöneristystä lisätään, sillä lämmöneristyksen lisääminen viilentää vaipan ulkopintoja, jolloin olosuhteet kosteuden kondensoitumiselle ja homeen kasvulle muuttuvat suotuisammiksi. (Vinha ym. 2008, 69.)

Kun ulkoseinän lämmöneristyspaksuutta kasvatetaan kohti matalaenergiarakennetta, tuulensuojan alapinnan lämpötila laskee lähemmäksi ulkolämpötilaa ja riski kosteuden kondensoitumiselle ja homeen kasvulle tuulensuojan alapinnassa kasvaa. Rakenteen kosteusteknistä toimintaa voidaan parantaa lisäämällä tuulensuojan lämmönvastusta ja vesihöyrynläpäisevyyttä tai korottamalla sisäpuolisen höyrynsulun höyrynvastusta. (Vinha ym. 2008, 48.)

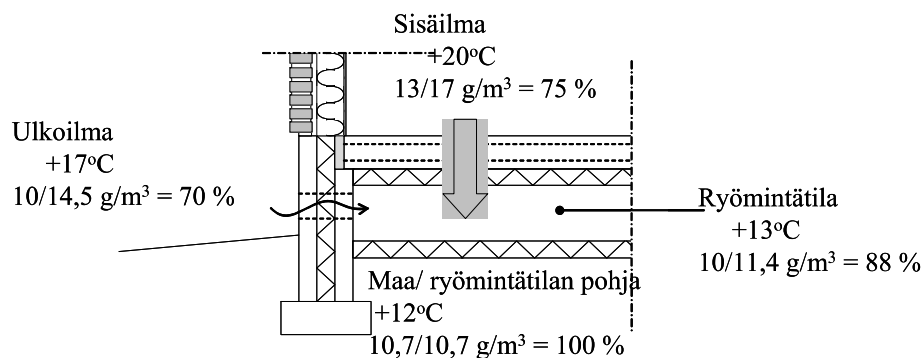
Lämmöneristepaksuuden kasvattaminen tuulettuvassa yläpohjassa heikentää yläpohjan kosteusteknistä toimintaa, sillä lisäeristäminen viilentää tuuletustilaa ja näin ollen olosuhteet homeenkasvulle muuttuvat otollisemmiksi. Esimerkiksi Ruotsissa on raportoitu yläpohjan ongelmista, jotka on liitetty osaltaan kasvaneisiin eristepaksuuksiin. (Vinha ym. 2008, 28.)

Kun alapohjan eristepaksuutta lisätään, pienenee lämpövuoto alapohjan läpi ryömintätilaan ja tällöin ryömintätilan lämpötila talvella laskee. Kosteusteknisen toiminnan kannalta lämpötilan laskulla ei ole vakavia seuraamuksia, sillä tuuletettaessa ryömintätilaa ulkoilmalla ryömintätilan suhteellinen kosteus pysyy kohtalaisen alhaisena talviolosuhteissa, kuten kuvio 13 osoittaa. (Vinha ym. 2008, 31–32.)



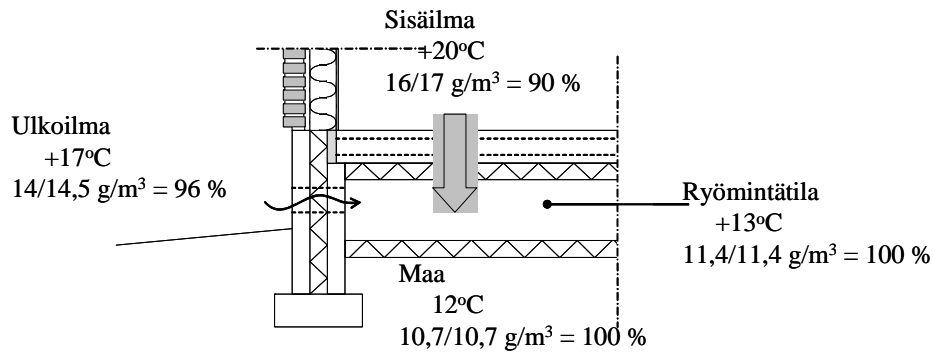
Kuvio 13. Lämmönvastukseltaan suuren alapohjan alapuolisen ryömintätilan olosuhteet talvella (Vinha ym. 2008, 32).

Kesällä ryömintätilan lämpötila pysyy yhä ulkoilman lämpötilaa matalampana viileän pohjamaan ansiosta. Ryömintätilan suhteellinen kosteus kohoaa ulkoilman korkeamman suhteellisen kosteuden ja alapohjan kosteuden seurauksena, kuten kuvio 14 osoittaa. Alapohjan kosteusolosuhteet saattavat helposti muuttua mikrobikasvulle otollisiksi. (Vinha ym. 2008, 32.)



Kuvio 14. Lämmönvastukseltaan suuren alapohjan alapuolisen ryömintätilan olosuhteet kesällä (Vinha ym. 2008, 32).

Kosteana kesänä ryömintätilan kosteusolosuhteet pysyvät sellaisina, että pinnoille voi kondensoitua kosteutta ja olosuhteet mikrobikasvulle ovat otolliset, kuten kuviosta 15 nähdään. (Vinha ym. 2008, 33.)



Kuvio 15. Lämmönvastukseltaan suuren alapohjan alapuolisen ryömintätilan olosuhteet sateisena kesänä (Vinha ym. 2008, 33).

Kun alapohjan lämmönvastusta kasvatetaan, pitenevät ne vuosittaiset ajanjaksot, jolloin ryömintätilan kosteusolosuhteet mahdollistavat mikrobien kasvun. Näin ollen heikentää lämmöneristyksen lisääminen ryömintätillallisen alapohjan kosteusteknistä toimivuutta merkittävästi. (Vinha ym. 2008, 33.)

Lämmöneristysmääräysten kiristyessä myös massiivirakenteiden käyttö voi hankaloitua. Lämmöneristyskerroksen lisääminen massiivirakenteeseen voi johtaa tilanteeseen, jossa kosteus tiivistyy rajapintoihin tai olosuhteet muodostuvat mikrobikasvustolle otollisiksi. Käytettävästä lämmöneristeestä riippumatta massiivirakenteen sisäpuolinen lisälämmöneristys heikentää rakenteen kosteusteknistä toimivuutta, kun massiivirakenne itsessään viillenee. Tällöin massiivirakenteen sisäpintaan voi kondensoitua kosteutta ja olosuhteet muuttua homeenkasvulle otollisiksi. Rakenne myös kuivuu hitaammin, jolloin rakenteen kosteuspitoisuus voi jäädä korkeaksi. Lisäksi menetetään rakenteen sisäpuolinen lämmönvarauskyky. (Vinha 2008, 50–51.)

3.2.2 VTT:n lausunto rakenteiden energiatehokkuuden parantamisen vaikutuksista rakenteiden kosteustekniseen toimintaan

Ympäristöministeriön VTT:ltä tilaaman tutkimuksen mukaan rakenteiden energiatehokkuuden parantaminen ei heikennä rakenteiden kosteusteknistä toimivuutta joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta. (Hyvärinen & Ojanen 2008, 17.)

Tuuletetun, rankarakenteisen ulkoseinän tapauksessa todettiin, että jo nykyiset lämmöneristysmääräykset täyttävän ulkoseinän läpi tapahtuva lämpöhäviö on niin vähäinen, ettei se vaikuta olennaisesti ulkoseinän ulkopinnan olosuhteisiin ja toisaalta olosuhteiden mahdollistama kuivuminen matalaenergiarakenteen ulkopinnasta on jokseenkin samanlainen kuin nykyisillä ulkorakenteilla. Tutkimuksessa kävi myös ilmi, että sekä matalaenergiavaatimukset täyttävien ulkoseinärakenteiden että nykyiset rakennusmääräykset täyttävien ulkoseinärakenteiden homehtumisherkkyys on täysin samaa luokkaa: molempien laskennallinen homeindeksi jäi korkeimmillaan tasolle kaksi, joka on ulkopuolen rakenneosissa turvallinen taso. (Hyvärinen & Ojanen 2008, 9–12.)

Myös tuuletetun yläpohjan tapauksessa katsottiin, ettei lämmöneristävyys lisäminen vaikuta yläpohjan läpi tapahtuvaan lämpöhäviöön. Nykymääräysten mukaisen yläpohjan läpi tapahtuva lämpöhäviö ei vaikuta tuuletustilan lämpötilaan, eikä lämmöneristävyys lisämisellä ole siis merkitystä. Riittävällä tuuletuksella yläpohjan olosuhteet pidetään ulkoilman sateelta suojattuja olosuhteita vastaavassa tilassa, joka ei aiheuta lahoamista. Homeen kasvua tällaisissa yläpohjissa tapahtuu aina. Toisinaan tuuletustilan kylmiin osiin voi kondensoitua ulkoilman mukana tulevaa kosteutta, mutta se kuivuu kuivumisjaksojen aikana. Pääasiassa yläpohjan kosteusvauriot johtuvat katteen, sen läpivientien ja detaljien vuodoista. (Hyvärinen & Ojanen 2008, 12–13.)

Myös tuulettuvan alapohjan tapauksessa katsotaan alapohjan läpi tapahtuvan lämpöhäviön olevan jo nykyisissä rakenteissa niin olematon, ettei se vaikuta alapohjan tuuletustilan lämpötilaan. Kuten edellä kuvaillun yläpohjankin tapauksessa myös tuulettuvan alapohjan kosteusteknisen toimivuuden katsotaan perustuvan tuuletuksen riittävyys ja tasaiseen jakautumiseen koko tuuletustilan alalle. Homeen kasvua alapohjan tuuletustilassa ei voida välttää. Alapohjan ilmatiiviys estää epäpuhtauksien pääsyn sisäilmaan. Ylimääräisten kosteuskuormien välttäminen on olennaisinta. Alapohjassa esiintyvien lahovaurioiden nähdään johtuvan rakennusvirheistä tai käytönaikaisen toimivuuden varmistamisen laiminlyönnestä, jotka ovat johtaneet alapohjaa vaurioittaviin kosteuskuormituksiin. Maaperän kosteussuojaaminen ja eristäminen etenkin rakennuksen reuna-alueilta edistävät alapohjan kosteusteknistä toimintaa.

Lisäksi tuuletusputki alapohjasta katolle varmistaa tuuletuksen toimivuuden. (Hyvärinen & Ojanen 2008, 13–14.)

Hirsiseinän sisäpuolisen eristämisen tapauksessa tutkimuksessa todetaan, että 50 mm lisäeristekerros sisältää runsaasti varmuutta kosteusteknistä toimintaa ajatellen, vaikka sisäpinnassa ei käytettäisi höyrynsulkumuovia. (Hyvärinen & Ojanen 2008, 16.)

3.3 Poikkeuksellisten sääolosuhteiden vaikutus rakenteiden kosteustekniseen toimivuuteen

Kasvihuoneilmiön voimistuminen aiheuttaa sademäärien runsastumisen tulevaisuudessa Suomessa etenkin talvikaudella (Jylhä ym. 2009, 39–40).

Myös ilman suhteellisen kosteuden ennustetaan kasvavan talvella. Ilman korkea suhteellinen kosteus hidastaa rakennusten kuivumista ja voi aiheuttaa kosteuden tiivistymistä ja sitä kautta kosteusvaurioita. (Ruosteenoja 2010, 2–6.)

Ilmaston lämmetessä ja sateiden lisääntyessä muuttuvat ulkoilman olosuhteet niin, että homeen kasvulle suotuisat kaudet yleistyvät ja rakenteiden kuivumiselle suotuisat ajanjaksot vähenevät. Lisääntyvät sateet ja tuulet ja niistä aiheutuvat viistosateet vaikuttavat ulkoverhouksen pitkäaikaiskestävyyteen. Ilmastonmuutos siis heikentää rakenteiden kosteusteknistä toimintaa. (Vinha ym. 2008, 6, 69.)

4 KOSTEUSTEKNISESTI TURVALLISET PUURAKENTEET

4.1 Rakenteiden kosteusteknisen toimivuuden edellytykset

Sisäilmayhdistyksen mukaan rakenteiden kosteusongelmat ovat yksi suurimpia sisäilmaongelmien aiheuttajia. Kosteusteknisesti toimivat puurakenteet ovat siis edellytys turvalliselle ja terveelliselle elinympäristölle. Koska puu on suosituin pientalojen materiaali Suomessa, voidaan päätellä, että puurakenteiden kosteustekninen toiminta vaikuttaa suoraan myös kansanterveyteen Suomessa. Tästä johtuen pientalojen rakenteet tulisi suunnitella ja toteuttaa niin, että rakenteissa oleva tai niihin joutuva kosteus ei aiheuta rakenteissa vaurioita ja että olosuhteet rakenteissa ovat homeen kasvulle mahdollisimman epäedulliset, riippumatta siitä, millainen seinärakenne on kyseessä.

Rakennuksen ulkovaippa suojaa sisätiloja ulkopuolisen sään rasitteilta ja toisaalta eristää sisätilat ulkoilmasta. Suomen olosuhteissa ulkovaipparakenteet ovat käytännössä aina alttiita kosteuden vaikutuksille, sillä sekä sisä- että ulkoilmassa sekä maaperässä on aina jonkin verran kosteutta, ja lisäksi rakenteita rasittaa rakennuksen käytöstä sekä sääolosuhteista, esimerkiksi sateesta, johtuva kosteus. Lisäksi ilmastonmuutoksesta johtuen tulevaisuudessa olosuhteet muuttuvat rakenteiden kosteusteknistä toimintaa ajatellen epäedullisemmiksi, ja rakenteisiin tulee kohdistumaan nykyistä enemmän niitä kuormittavaa kosteutta.

Sen lisäksi, että rakenteiden tulee kestää niihin kohdistuvat kosteuskuormat, rakenteiden kosteusteknistä toimivuutta edesauttavat sellaiset rakenneratkaisut, joilla voidaan kontrolloida rakenteisiin kohdistuvaa kosteuskuormaa ja näin hallita rakenteita rasittavan kosteuden määrää.

Koska puurakenteisiin vaipparakenteisiin kohdistuu aina jonkinlainen kosteuskuorma, niissä käytettävät materiaalit tulee valita siten, että ne kestävät niihin kohdistuvat kosteusrasitukset ja toisaalta rakenne tulee toteuttaa niin, että siihen joutunut kosteus pääsee kuivumaan pois ennen kuin se aiheuttaa vahinkoa rakenteessa. Lisäksi rakenteet ja niissä käytettävät materiaalit tulee suojata ylimääräiseltä kosteudelta jo rakennusvaiheessa, ja toisaalta rakenteisiin

rakennusvaiheessa päässeeseen kosteuden tulee päästä kuivumaan vahinkoa aiheuttamatta. Myös rakentamisen laadulla on merkitystä rakenteiden kosteusteknisen toiminnan varmistamisessa, sillä esimerkiksi läpivientien huolellinen tiivistäminen ehkäisee ylimääräisen kosteuden vuotamisen rakenteisiin. Lisäksi rakennuksen käytössä ja huollossa tulee huomioida rakenteiden kosteusteknisen toimivuuden varmistaminen.

4.2 Ulkoseinärakenteiden kosteusteknisen toimivuuden varmistaminen

4.2.1 Puu-ulkoverhous

Puurankarakenteisessa ulkoseinärakenteessa uloimman rakennekerroksen eli ulkoverhouksen tehtävä kosteustekniseltä kannalta tarkasteltuna on suojata rakennetta sateelta ja lumelta. Lisäksi ulkoverhous suojaa rakennetta auringonvalon ja tuulen vaikutukselta. Ulkoverhous on jatkuvassa kontaktissa ulkoilman kanssa, joten ulkoverhouksen materiaali ja sen pinnoite sekä kiinnitysnaulojen, -ruuvien tai -mekanismien materiaalit tulee valita siten, että ne muodostavat ulkoverhouskokonaisuuden, joka kestää siihen kohdistuvat ulkoiset rasitukset. Nurkkaliitokset ja liitokset ikkunoihin ja oviin tulee toteuttaa siten, ettei ulkoverhouksen taakse pääse vuotamaan liitoksista vettä, joka voisi vaurioittaa rakenteita.

Vesi siirtyy ulkoverhousta pitkin yleensä painovoimaisesti kohti maata. Tästä johtuen verhous tulee suunnitella ja toteuttaa niin, että vettä ei pääse kertymään esimerkiksi liitoskohtiin haitallisen paljon. Jos vesi siirtyy tuulen vaikutuksesta ylöspäin verhousta pitkin ja päättyy esimerkiksi puuverhouksen saumakohtiin, sen tulee päästä kuivumaan joko ulkoverhouksen ulko- tai sisäpinnan kautta. Koska vesi voi satunnaisesti siirtyä ylöspäin, tulee puisessa ulkoverhouksessa kosteussuojata ne ulkoverhouksen osat, jotka voivat imeä puuhun huomattavia määriä kosteutta. Nämä osat ovat käytännössä puun syihin nähden poikittaiset leikkauspinnat, ja ne voidaan suojata millä tahansa sellaisella rakennuskäyttöön sopivalla ja ulkoilman olosuhteissa kestäväällä aineella, joka estää ylimääräisen kosteuden imeytymisen puuhun.

Hirsiseinän tapauksessa ei erillistä ulkoverhousta käytetä, paitsi silloin kun hirsiseinä eristetään hirsirakenteen ulkopuolelta. Sisäpuolelta eristetyin hirsiseinän tapauksessa itse hirsiseinärakenteen ulkopinta toimii ulkoverhouksena. Se suojataan sään vaikutuksilta puunsuoja-aineella.

4.2.2 Ulkoseinärakenteen tuulettuvuus ja kuivumiskyvyn varmistaminen

Luvussa 2.1.1 esitetyistä seinärakenteista sekä höyrynsulullisessa että ilmansulullisessa puurankarakenteisissa ulkoseinärakenteissa on tuuletusrako. Puurankarakenteisissa ulkoseinissä on aina oltava tuuletusrako, joka mahdollistaa ulkopinnan takaisten rakennekerroksien tuulettumisen ja kuivumisen ja toisaalta estää ulkoverhouksen läpi mahdollisesti vuotavan veden joutumisen syvemmälle rakenteeseen. Jotta tuuletusrako toimisi oikein, ilman liikkuminen tuuletusraossa on varmistettava koko tuuletusraon alalla käytettävästä ulkoverhousmateriaalista riippumatta. Tuuletusraon tulee olla auki ainakin ala- ja yläreunastaan, eikä sitä saa sulkea niistä aukoista, joista ilman suunnitellaan kulkeväksi.

Puurankarakenteisen, höyrynsulullisen ulkoseinärakenteen toteuttaminen ilman tuuletusrakoa olisi äärimmäisen riskialtista seinän kosteusteknistä toimintaa ajatellen, vaikka ulkoverhous kyettäisiinkin tekemään täysin vesi- ja kosteustiiviiksi ja rakenne suojaamaan kastumiselta ja kostumiselta rakennusvaiheessa, sillä rakennusmateriaalien hygroskooppiset ominaisuudet tekevät täysin kuivan seinärakenteen toteuttamisen käytännössä mahdottomaksi. Rakennusmateriaalit asettuvat kosteustasapainoon ympäröivän ilman kanssa jo rakennusvaiheessa, joten tiiviin ulkopinnan taakse päätyisi joka tapauksessa kosteutta, vaikka materiaalit ja rakenne kyettäisiin suojaamaan esimerkiksi suoran sateen vaikutukselta rakennusvaiheessa. Höyrynsulku estää rakennuskosteuden kuivumisen sisätiloihin. Myös ilmansulku, vaikka onkin höyrynvastukseltaan huomattavasti höyrynsulkua heikompi, heikentää sen kuivumismahdollisuutta sisätilan suuntaan. Lisäksi diffuusion suunta on yleensä sisätilasta ulospäin, koska sisäilma on ulkoilmaa kosteampaa, tosin rakenteen ollessa riittävän märkä kosteus voi siirtyä sisäilmaan. Kosteus voisi tiivistyä ulkoverhouksen sisäpintaan

esimerkiksi silloin, kun ulkoilma on sisäilmaa viileämpää ja jäädyttää rakenteen ulkopintaa.

Esimerkkinä tuuletusraon merkityksestä puurankarakenteessa voidaan pitää Ruotsin paisuvaa homeskandaalia. Ulkopinnassa olevien virheiden ja vuotokohtien läpi rakenteen sisälle vuotanut kosteus ei ole päässyt kuivumaan vaurioituneista rakenteista riittävän nopeasti. Kosteus on lopulta levinnyt painovoiman, materiaalien kapillaarisuuden ja hygroskooppisten ominaisuuksien ja paine-erojen vaikutuksesta syvemmälle rakenteen puurunkoon ja aiheuttanut rakenteessa homevaurioita.

Toisaalta vaikka esimerkkitapausten ulkopinta olisikin toteutettu vesitiiviisti, jo pelkästään rakennusvaiheessa seinärakenteen sisälle joutunut kosteus voi aiheuttaa homevaurion rakenteessa, mikäli rakennuskosteuden kuivuminen on estetty. Toisaalta pienikin vuotokohta sisäpuolisessa höyrynsulussa voi mahdollistaa haitallisen kosteusmäärän siirtymisen rakenteeseen. Ruotsin esimerkkitapauksissa ulkoverhousratkaisu estää kosteuden kuivumisen rakenteesta: Ohutrappauksen alapuolella olevan eristelevyn vesihöyrynvastus on ollut riittävän suuri estämään rakennekerroksen sisäpuolelle päässeeseen kosteuden kuivumisen ulkoilmaan. Sisäpuolinen höyrynsulku, joka suojaa rakennetta sisäilman kosteusrasitukselta, estää kosteuden siirtymisen sisäilmaan.

Tuulettumattoman seinärakenteen toimivuus edellyttäisi, että uloimpien kerrosten vesihöyrynvastus olisi niin alhainen, ettei se estä rakenteen kuivumista ulospäin. Toisaalta tällaisen rakenteen ongelmaksi muodostuu se, että ulompien kerrosten olisi myös estettävä veden siirtyminen rakenteen sisälle. Koska ulkovuoraukseen kohdistuu ajoittain suuriakin kosteuskuormia vesi- ja lumisateen johdosta, ratkaisu on ongelmallinen ja riskialtis oikein toteutettunakin.

Hirsiseinän kuivumiskyky perustuu puun kosteusteknisiin ominaisuuksiin. Puu kykenee sekä vastaanottamaan kosteutta että luovuttamaan sitä solurakenteensa ansiosta. Puun kyky kuivua säilytetään vain, jos se suojataan sellaisella maalilla tai puunsuoja-aineella, joka ei muodosta kosteutta läpäisemätöntä kalvoa puun pintaan.

4.2.3 Massiivipuisten ja hengittävien puukuiturakenteisten ulkoseinien hygroskooppinen tasapaino

Materiaalien hygroskooppisuudesta johtuen rakenteet pyrkivät asettumaan kosteustasapainoon ympäröivän ilman kanssa. Koska materiaalien hygroskooppiset ominaisuudet vaihtelevat suurestikin, yksiselitteistä kaaviota siitä, miten ympäröivä kosteus vaikuttaa rakenteeseen, ei kyetä antamaan. Yleisesti voidaan kuitenkin todeta, että ilman korkea kosteuspitoisuus ja matala lämpötila kohottavat materiaalin kosteutta ja vastaavasti kosteuspitoisuuden laskiessa ja lämpötilan noustessa materiaalin kosteuspitoisuus madaltuu.

Hygroskooppisuuden merkitys kohoaa etenkin hengittävien puukuiturakenteiden ja massiivipuukurakenteiden kohdalla, sillä näiden kosteustekninen toiminta perustuu rakenteessa käytettyjen materiaalien hygroskooppisiin ominaisuuksiin. Koska hirsiseinä kykenee sekä varastoimaan että luovuttamaan kosteutta, voidaan todeta, että hirsiseinän vaikutukset huoneilmaan ovat vastaavat kuin hengittävän seinärakenteen. Molemmat puupohjaiset rakenteet tasaavat huoneilman kosteuden vaihtelua varastoimalla ylimääräistä kosteutta ja luovuttamalla kosteutta silloin kun huoneilma kuivuu.

Tämä etu säilytetään vain varmistamalla, että huoneilman ja rakenteen hygroskooppisten materiaalien välille ei luoda kalvoa, joka heikentää merkittävästi kosteuden siirtymiskykyä huoneilmasta rakenteen hygroskooppisiin materiaaleihin tai vastaavasti estää materiaalia luovuttamasta siihen varastoitunutta kosteutta huoneilmaan. Tällaisia kalvoja voivat olla höyrynsulkumuovin lisäksi esimerkiksi kosteutta läpäisemättömät maalipinnat tai muovitapetit. Jos hirsiseinään asennetaan lisälämmöneristekerros sisäpuolelle, on mielekkäämpää käyttää kosteutta läpäisevää ilmansulkupaperia höyrynsulkukalvon sijaan, jolloin hirsiseinän hygroskooppisten ominaisuuksien vaikutukset sisäilman laatuun säilytetään. Jos hirsiseinän sisäpintaan asennetaan yli 50 millimetriä paksu lisälämmöneristekerros, tulee höyrynsulkukalvon tarve kartoittaa tapauskohtaisesti. Tällöin voidaan joutua tilanteeseen, jossa höyrynsulkukalvon käyttö on seinärakenteen kosteusteknisen turvallisuuden kannalta tarkasteltuna välttämätöntä ja hirsiseinän hygroskooppisten ominaisuuksien positiiviset vaikutukset huoneilmaan menetetään.

Materiaalien hygroskooppisuus saattaa altistaa rakenteen kosteusvaurioille. Kaikkien rakennusmateriaalien kyky sitoa kosteutta on rajallinen, joten kosteuskuorman kohotessa niin suureksi, ettei rakennusmateriaali enää kykene varastoimaan kosteusmäärää, rakenne kastuu. Mikäli kosteus ei kuivu rakenteesta riittävän nopeasti, rakenne vaurioituu.

Hygroskooppinen materiaali kuitenkin pystyy varastoimaan itseensä jonkin verran ylimääräistä kosteutta, mikäli rakenteeseen kohdistuu normaalia raskaampi kosteuskuormitus. Tässä tilanteessa materiaalin kyky varastoida kosteutta itseensä voi ehkäistä kosteusvaurioitumista, mutta kosteusvaurion vaara on olemassa myös silloin, kun rakenteen hygroskooppisiin materiaaleihin varastoituu ylimääräistä kosteutta. Koska rakenteiden hygroskooppiseen tasapainoon vaikuttaa paitsi suhteellinen kosteus myös ilman lämpötila siten, että matalassa lämpötilassa materiaaliin sitoutuu enemmän kosteutta kuin lämpimässä, voi rakenteeseen matalassa lämpötilassa sitoutunut liiallinen kosteus vahingoittaa rakennetta, kun rakenteen lämpötila äkillisesti nousee ja kosteuden luovutus alkaa. Jos rakenteen materiaaleihin on sitoutunut kosteutta huomattavan paljon ja kosteus ei kuivu riittävän nopeasti rakenteen pintojen läpi, voi rakenteessa tapahtua kosteusvaurio.

4.2.4 Vesihöyryn diffuusion ja konvektiovirtausten kontrollointi ulkoseinärakenteissa

Tuuletusraon ja lämmöneristeen väliin järjestetään rankarakenteisissa ulkoseinärakenteissa tuulensuojakerros. Tuulensuojan vesihöyrynvastus ei saa olla niin korkea, että se estäisi sisäpuolelta tulevan tai tuulensuojan sisäpuolelle joutuneen kosteuden haihtumisen tuuletusraossa olevaan ulkoilmaan.

Käytettäessä avohuokoisia lämmöneristeitä, kuten mineraalivillaa, sisäilman vesihöyryn diffuusio ja konvektio estetään puurankarakenteisissa ulkoseinärakenteissa rakenteen sisäpuolelle asetettavalla höyrynsululla. Diffuusion suunta on yleensä sisätiloista ulospäin, koska sisäilma sisältää enemmän kosteutta kuin ulkoilma, joten heti sisäpintaan asennettava höyrynsulkukerros estää kosteuden siirtymisen rakenteeseen sisäilmasta. Tämä kuitenkin edellyttää,

että höyrynsulku on tiivis ja sen liitokset on teipattu huolellisesti. Pienikin reikä höyrynsulussa aiheuttaa sen, että sisäilmasta pääsee vuotamaan kosteutta rakenteeseen. Pitkällä aikavälillä kosteusvuoto saattaa vaurioittaa rakennetta.

Hengittävässä rakenteessa käytetään ilmansulkupaperia höyrynsulun sijaan. Vinhan mukaan on olemassa vaara, että vesihöyry kondensoituu tuulensuojakerroksen sisäpintaan, kuten kuvio 8 luvussa 2.2.3 osoittaa. Hengittävän ulkoseinärakenteen kosteusteknistä turvallisuutta varmistaa oikeat materiaalivalinnat. Kuten Kokko toteaa, perustuu hengittävän puukuiturakenteen toiminta materiaalien kykyyn sitoa ja luovuttaa kosteutta ilman, että kosteus vahingoittaa niitä. Toisaalta rakenteessa hyödynnetään puupohjaisten materiaalien kykyä kasvattaa vesihöyrynvastusta suhteellisen kosteuden kasvaessa.

Kokon mukaan huoneilman suhteellisen kosteuden ollessa korkeimmillaan tulisi ulkoseinän sisäpinnan vesihöyrynvastuksen olla korkeimmillaan, jolloin kosteuden haihtuminen sisäilmasta tuulensuojakerroksen sisäpintaan vähenee. Ilmansulun höyrynvastuksen tulee joka tapauksessa olla vähintään viisinkertainen tuulensuojan höyrynvastukseen verrattuna. Ilmansulkukerrokseen tulisi siis valita vain sellaisia ilmansulkupapereita, joiden kosteusteknisestä toiminnasta on olemassa luotettavia kokeellisia tuloksia ja joiden höyrynvastus on riittävä. Eristekerroksen materiaalilla on kyky sekä sitoa että luovuttaa kosteutta, niin että ilmansulun läpi tuleva kosteuskuorma sitoutuu eristekerrokseen eikä kondensoidu tuulensuojan sisäpintaan. Tässä työssä tutkitussa tuulettuvassa ulkoseinärakenteessa eristeenä on käytetty puukuitueristettä, jonka kyky sitoa ja luovuttaa kosteutta ovat sopivat hengittävää ulkoseinärakennetta ajatellen, mutta mikä tahansa eristemateriaali, jolla on puukuitueristettä vastaavat hygroskooppiset ominaisuudet, sopivat hengittävän seinärakenteen eristemateriaaliksi, mikäli niillä pystytään toteuttamaan nykyvaatimukset täyttävä rakenne myös muiden teknisten ominaisuuksiensa puolesta.

Periaatteessa vesihöyryn satunnainen kondensoituminen voitaisiin hyväksyä, mikäli voitaisiin varmistaa, että kondensoitunut kosteus pääsee kuivumaan seinärakenteesta riittävän nopeasti niin, ettei se ehdi vaurioittaa rakennetta. Käytännössä kuitenkin sääolosuhteiden muutos hankaloittaa kondensoituneen

veden haihtumisen ennustamista. Jos lämpötilat ilmastonmuutoksen seurauksena kohoavat, kuivumiskaudet lyhenevät ja näin ollen kondensoituneen kosteuden kuivuminen rakenteesta hidastuu.

Massiivirakenteisessa hirsiseinässä ei ole rajapintoja, joihin kosteus voisi kondensoitua, joten diffuusio- ja konvektiovirtaukset kulkevat massiivirakenteen läpi muuttumattomana. Kun hirsiseinään lisätään lämmöneristekerros sisäpuolelle, eristeen ja hirren väliin syntyy rajapinta johtuen eristeen ja puun erilaisista kosteusominaisuuksista. VTT:n tutkimuksen mukaan 50 mm sisäpuolinen lisäeristys massiivirakenteessa sisältää varmuutta niin, ettei höyrynsulkumuovia tarvitse käyttää.

4.2.5 Ulkoseinärakenteen sisäinen konvektio kosteusvauriolle altistavana tekijänä

Vaikka ulkoseinän sisäinen konvektio ei lisääkään kosteutta rakenteessa, se voi edesauttaa kosteusvaurion syntymistä siirtämällä rakenteessa olevaa tai rakenteeseen päässyttä kosteutta rakenteen kylmiin kohtiin. Erityisesti avohuokoisia eristeitä käytettäessä sisäisen konvektion merkitys korostuu. Kosteuden tulisi jakautua koko eristekerroksen alalle tasaisesti, mutta mikäli eriste on asennettu huonosti ja rakennekerrosten väliin jää tila, joka on ympäröivää rakennetta viileämpi, sisäinen konvektio siirtää kosteuden rakenteen viileään kohtaan. Sisäisen konvektion merkitys ohuissa rakenteissa jää vähäiseksi, sillä ohuessa rakenteessa rakennekerroksen tasalaatuisuus toteutuu melko helposti. Sisäinen konvektio saattaa kuitenkin olla riskitekijä paksuissa rakenteissa, joissa epätasaisuuksia eristekerroksissa esiintyy todennäköisemmin.

4.2.6 Rankarakenteisten ulkoseinärakenteiden kosteusteknisen toiminnan vertailu

Vinhan mukaan kosteutta läpäisevä ulkoseinärakenne on alttiimpi kosteus- ja homevaurioille kuin höyrynsulullinen ulkoseinärakenne. Koska kosteus kondensoituu kylmille pinnoille, voidaan talvea pitää kondensoitumisen kannalta

otollisimpana ajankohtana, sillä talvella ulkoseinärakenteen ulkopinta on selvästi sisäpintaa kylmempi ulko- ja sisälämpötilaerojen vaikutuksesta. Höyrynsulkukalvo estää kosteuden siirtymisen sisäilmasta ulkoilmaa kohti, mutta ilmansulullisessa rakenteessa kosteuden siirtymistä ei ole estetty, joten onkin syytä tutkia, kondensoituuko kosteus ulkoseinärakenteessa rakenteen ulkopintaan kylmänä vuodenaikana.

Ulkoseinärakenteen kosteuskäyttäytymistä voidaan tutkia yksinkertaistettuna DOF-lämpö-ohjelmalla. Tarkastellaan sekä höyrynsulullisen että ilmansulullisen ulkoseinärakenteen käyttäytymistä tammikuussa Jyväskylän sääolosuhteissa. Laskennassa ei huomioitu tuuletusraon ulkopuolisia rakenteita, sillä oletettiin, että jo tuuletusraossa vallitsee sateetonta ulkoilmaa vastaavat olosuhteet. Tarkastelun raportit ovat liitteinä tässä työssä.

Kondensoitumisvaara syntyy, jos suhteellinen kosteus on tarkastelupisteessä 100 prosenttia. Tarkastelupiste neljä vastaa tuulensuojan ja lämmöneristeen välistä rajapintaa. Toinen kriittinen kohta on piste kuusi, joka kuvaa ilmansulun ja lämmöneristeen välistä rajapintaa.

Taulukko 2. Hengittävän seinärakenteen suhteelliset kosteuspitoisuudet tammikuun sääolosuhteissa.

Tarkastelupiste	Lämpötila pisteessä (°C)	Suhteellinen kosteus pisteessä (%)
ULKOPINTA	-10	88
1	-9,09	81,8
2	-9,09	81,8
3	-9,09	81,2
4	-5,90	90,4
5	1,12	63
6	18,66	28,5
7	18,71	35,0
8	19,09	52,7
SISÄPINTA	20	50

Taulukosta 2 huomataan, että rakenteessa ei tällaisenaan ole kondensoitumisriskiä talviaikaan. Ulkoseinän ulko-osissa suhteellinen kosteus on kuitenkin selvästi koholla. Korkeimmillaan suhteellinen kosteus on juuri

tuulensuojan sisäpinnassa. Luvussa 3.1.1 esitetyn taulukon 1 mukaan esimerkkirakenteen homehtumisriski on kuitenkin vähäinen, jos kosteusrasitus esiintyy lyhyinä jaksoina tai kylminä vuodenaikoina. Lämpötila tuulensuojan sisäpinnassa on -5,9 astetta, joten homehtumisvaaraa ei ole. Kohonneiden kosteusarvojen analysointia varten tutkittiin seinärakenteen suhteelliset kosteuspitoisuudet myös muina vuodenaikoina.

Taulukko 3. Hengittävän seinärakenteen suhteelliset kosteuspitoisuudet huhtikuun sääolosuhteissa.

Tarkastelupiste	Lämpötila pisteessä (°C)	Suhteellinen kosteus pisteessä (%)
ULKOILMA	1,3	73
1	1,87	70,2
2	1,87	70,2
3	1,87	70,2
4	3,86	71,0
5	8,23	57,5
6	19,26	34,9
7	19,19	39,3
8	19,43	51,7
SISÄILMA	20	50

Taulukko 4. Hengittävän seinärakenteen suhteelliset kosteuspitoisuudet heinäkuun sääolosuhteissa.

Tarkastelupiste	Lämpötila pisteessä (°C)	Suhteellinen kosteus pisteessä (%)
ULKOPINTA	15,7	72
1	15,83	71,4
2	15,83	71,4
3	15,83	71,4
4	16,29	68,6
5	17,29	64,1
6	19,81	54,2
7	19,81	53,2
8	19,87	50,4
SISÄPINTA	20	50

Taulukosta 3 huomataan, että huhtikuussa suhteelliset kosteuspitoisuudet ovat pudonneet huomattavasti ja taulukko 4 osoittaa, että kosteuspitoisuudet pysyvät alhaalla heinäkuussakin. Tuulensuojan sisäpuolella homehtumisriski laskee lämpimänä kautena vähäiseen, vaikka kosteusrasitus olisikin pitkäkestoista.

Taulukko 5. Hengittävän seinärakenteen suhteelliset kosteuspitoisuudet lokakuun sääolosuhteissa.

Tarkastelupiste	Lämpötila pisteessä (°C)	Suhteellinen kosteus pisteessä (%)
ULKOPINTA	3,4	87
1	3,90	84,1
2	3,90	84,1
3	3,90	84,1
4	5,67	80,8
5	9,55	65,5
6	19,26	40,1
7	19,29	43,1
8	19,50	51,5
SISÄPINTA	20	50

Taulukko 5 osoittaa, että lokakuussa tuulensuojan sisäpinnan suhteellinen kosteus kohoaa jälleen yli 80 prosenttiin. Huomataan, että rakenteessa suhteellinen kosteus on yli 80 prosenttia myös syksyllä. Toisaalta syksyllä myös lämpötila kriittisessä pisteessä tuulensuojan sisäpinnassa on 5,67 astetta. Puuinfon mukaan homeen kasvu on mahdollista, kun lämpötila on +0—+40 astetta, joten olosuhteet homeen kasvulle ovat nyt mahdolliset. Vinhan mukaan syksy on jopa talvea kriittisempää aikaa kosteusvaurioiden kannalta, ja myös tämän tutkimuksen tulokset viittaavat siihen.

Tutkittiin myös höyrynsulullisen seinärakenteen kosteusteknistä toimintaa tammikuun sääolosuhteissa. Tarkastelupiste neljä vastaa tuulensuojalevyn sisäpintaa. Vastaavasti tarkastelupiste viisi kuvastaa höyrynsulun ja lämmöneristekerroksen välistä rajapintaa.

Taulukko 6. Höyrynsulullisen seinän suhteelliset kosteuspitoisuudet tammikuun sääolosuhteissa.

Tarkastelupiste	Lämpötila pisteessä (°C)	Suhteellinen kosteus pisteessä (%)
ULKOPINTA	-10	88
1	-9,72	85,8
2	-9,72	85,8
3	-9,72	85,8
4	-7,89	74,4
5	19,28	12,2
6	19,28	51,6
7	19,48	51,5
SISÄPINTA	20	50

Taulukosta 6 huomataan, että höyrynsulullisessa seinässä tuulensuojan sisäpinnan suhteellinen kosteus on matalampi kuin ilmansulullisessa seinärakenteessa. Höyrynvastuksen kasvattaminen seinärakenteen sisäpinnassa tuo siis varmuutta rankarakenteisen seinän kosteustekniseen toimintaan.

4.2.7 Ulkoseinän liitokset maanvastaisiin rakenteisiin

Ulkoseinän liitoksissa maanvastaisiin rakenteisiin tulee kosteusteknistä toimintaa ajatellen ottaa huomioon materiaalien kyky siirtää vettä kapillaarisesti. Maaperän kosteus voi siirtyä kapillaarisesti maanvaraisista rakenteista ulkoseinän alaosiin, mikäli kapillaariveden nousua ei katkaista. Kapillaarikatko on hyvä sijoittaa rakennepintojen rajakohtaan, esimerkiksi puurungon ja betonisen alapohjan väliin, jolloin betonista ei siirry kosteus puuhun ja sitä kautta ulkoseinärakenteen alaosiin.

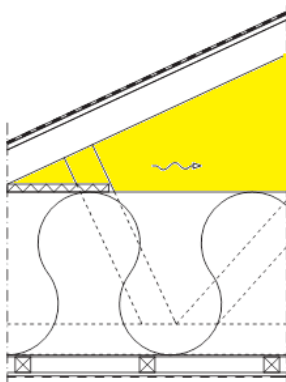
4.3 Yläpohjarakenteiden kosteusteknisen toimivuuden varmistaminen

4.3.1 Yläpohjan tuulettuvuus ja kuivumiskyvyn varmistaminen

Yläpohjaan ei saisi kertyä haitallisen paljon kosteutta vesihöyryn diffuusion tai ilmavirtausten johdosta. Yläpohjien kosteusvauriot johtuvat pääosin katteen, sen

läpivientien ja detaljien vuodoista, joten oikein asennettu ja suunniteltu tiivis kate ja siihen sopiva aluskate estävät sadeveden pääsyn yläpohjarakenteisiin, jolloin suoranaista saderasitusta ei katteen alapuolisiin yläpohjarakenteisiin pitäisi kohdistua. Tuulen vaikutuksesta yläpohjaan voi kuitenkin toisinaan joutua kosteutta esimerkiksi tuuletusaukkojen kautta, mutta käytännössä nämä kosteusmäärät eivät ole merkittäviä. Yläpohjan kosteusteknisen toiminnan kannalta ulko- ja sisäilman kosteuspitoisuudet ovat ratkaisevampia tekijöitä kuin satunnaiset sateen tai lumen aiheuttamat kosteuskuormat, mikäli itse vesikatteessa ei ole vuotokohtia, joskin nämäkin tulee ottaa huomioon yläpohjan suunnittelussa ja toteutuksessa.

Ristikkorakenteisen, puukuitueristeisen yläpohjan tapauksessa koko eristekerroksen yläpuolinen tila toimii tuuletustilana yläpohjalle. Tila on merkitty kuvioon 16 keltaisella. Tuulettuminen tässä tilassa varmistetaan tuuletusaukoin, joiden pinta-ala on vähintään neljä promillea yläpohjan pinta-alasta. Esimerkiksi 100 neliömetriä suuren yläpohjan tapauksessa tuuletusaukkojen vapaan pinta-alan tulisi olla vähintään 0,4 neliömetriä ja vastaavasti 200 neliömetriä suuren yläpohjan tapauksessa tuuletusaukkojen yhteenlasketun pinta-alan tulee olla vähintään 0,8 neliömetriä.

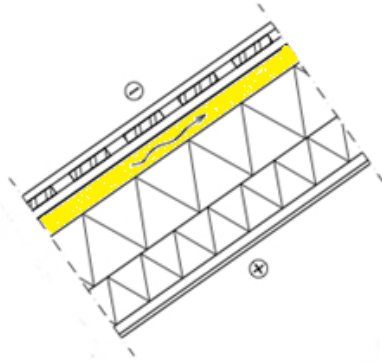


Kuvio 16. Ristikkorakenteisen yläpohjan tuulettuva tila.

Koska ilman pitäisi pystyä liikkumaan tilassa ja kuivattamaan sinne kertynyt kosteus, tuuletusaukkojen tulee sijaita siten, että ilma pääsee vaihtumaan koko

tuuletustilan alalla. Käytännössä tuuletusaukot sijoitetaan pientaloissa räystäälle ja päätyihin.

Palkkirakenteisen yläpohjan tapauksessa tuulettuminen tapahtuu lappeen suuntaisesti. Tuuletustila on merkitty keltaisella kuvioon 17.



Kuvio 17. Palkkirakenteisen yläpohjan tuuletustila.

Lappeen suuntaisesti eristetyin yläpohjan tapauksessa tuuletustilan korkeuden riittävyys on otettava huomioon. Tuuletustilan korkeus riippuu katteen kaltevuudesta. Kun katon kaltevuus ylittää 11 astetta, tuuletusvälin korkeudeksi riittää 75 millimetriä. Tuuletusvälin tulee olla auki räystääseen, mutta tämän lisäksi lappeen suuntaisesti eristetyt yläpohjarakenteet tuuletetaan talon harjalta.

Vaikka tuuletusaukot olisivat riittävät ja yläpohjan tuulettuminen mahdollista koko sen alalla, tuuletukseen ja yläpohjan kosteuspitoisuuteen vaikuttavat myös sään tuulisuus ja esimerkiksi rakennuksen sijainnin suojaisuus. Lisäksi tuulettumiseen ja kosteuspitoisuuteen vaikuttaa ulkoilman kosteuspitoisuus, koska kun tuuletukseen käytetään ulkoilmaa, tuuletustilan kosteuspitoisuus on sama kuin ulkoilman kosteuspitoisuus. Yläpohjan tuulettumista on siis hankala kontrolloida, sillä siihen ei vaikuta pelkästään ilman vaihtuvuuden varmistaminen. Yläpohjan kosteusolosuhteiden kontrollointi olisi mahdollista vain, jos koko yläpohjan tuuletus olisi järjestetty koneellisesti.

4.3.2 Eristeiden hygroskooppisuus kosteudenhallinnan osatekijänä

Tutkittavan ristikkorakenteisen yläpohjan eristemateriaalina on puukuituvilla. Puukuitupohjaisten materiaalien hygroskooppisuus vaikuttaa rakenteen kosteuskäyttäytymiseen, kuten todettiin jo seinärakenteiden hygroskooppisuutta tutkittaessa. Hygroskooppinen materiaali kykenee varastoimaan ja luovuttamaan yläpohjaan joko sisätilasta alapuolisen pinnan läpi tai yläpuolelta tuuletustilasta eristekerrokseen vuotanutta kosteutta. Hygroskooppisuutensa ansiosta se kestää ylimääräisiä kosteuskuormituksia jonkin verran.

Ristikkorakenteisessa yläpohjassa tuulensuojana toimiva rakennekerros asetetaan vain reuna-alueille, kuten rakennekuvasta huomataan. Näin eristekerroksen yläpinta on suurimmaksi osaksi suoraan kosketuksessa tuuletustilaan, eikä eristeen ja tuuletustilan välissä ole rajapintaa, johon kosteus voisi tiivistyä. Puukuitueristeeseen sitoutunut kosteus pääsee siis kuivumaan tuuletustilaan lämpötilan noustessa ja kosteuden vapautuessa eristeestä.

SPU-eristelevyjen kosteudensietokyky on korkea, ja niiden vesihöyrynvastus suuri. SPU-eristelevyt ovat lähes täysin ei-hygroskooppisia, joten ne eivät osallistu kosteudenhallintaan samalla tavalla kuin puukuitueristeet. SPU-eristeisiin ei pääse imeytymään kosteutta, vaan kosteus pysähtyy eristekerroksen pinnoille. Tästä johtuen on erityisen tärkeää, että eristeen kuivuminen tuuletustilaan on mahdollistettu.

4.3.3 Vesihöyryyn diffuusion ja konvektiovirtausten kontrollointi yläpohjassa

Yläpohjaan kohdistuu kosteuskuormituksia sekä sisätilasta että ulkoilmasta päin. Tuulettuvan yläpohjan tuuletustilan pinnat jäähtyvät kylminä vuodenaikoina ja mahdollistavat kosteuden tiivistymisen niihin. Jos sisäilmasta pääsee ylimääräistä kosteutta yläpohjaan, kosteus voi tiivistyä tuuletustilan kylmille pinnoille. Ilmavirtaukset rakenteen läpi estetään yläpohjarakenteen alapintaan sijoitetulla ilmansululla. Ilmansulku voidaan tiivistää höyrynsuluksi, jolloin estetään sisäilmasta ulospäin suuntautuva vesihöyryyn diffuusio.

SPU-eristeiden korkean vesihöyryn- ja ilmanvastuksen vuoksi SPU-eristeisessä palkkirakenteisessa yläpohjassa ei tarvita erillistä höyryn- tai ilmansulkua. Vesihöyry tai ilmavirtaukset eivät pääse kulkemaan tiiviin eristekerroksen läpi. Eristekerroksen yläpuolelle on kuitenkin järjestettävä riittävä tuuletusväli, joka mahdollistaa esimerkiksi katteen läpi mahdollisesti vuotavan tai pinnoille kondensoituneen kosteuden kuivumisen ulkoilmaan.

Mahdollisen eristekerrokseen päässeeseen kosteuden kuivumista tuuletustilaan ei saa estää vesihöyryä läpäisemättömällä materiaalilla. Eristeisiin vuotanut kosteus ei pääse kuivumaan sisätiloihin päin, joten sen mahdollisuus kuivua tuuletustilaan on varmistettava.

4.4 Tuulettuvan alapohjarakenteen kosteusteknisen toiminnan varmistaminen

4.4.1 Kosteuskuormien kontrollointi tuulettuvan alapohjan tapauksessa

Tuulettuva alapohja on Vinhan ym. (2008) mukaan jo lähtökohtaisesti riskirakenne. Siksi tulisi alapohjan suunnitteluvaiheessa huomioida, kuinka rakenne suojataan ylimääräisiltä kosteuskuormilta.

Rakennuksia rasittavista kosteudenlähteistä maaperän kosteus on pitkäkestoisin. Siksi maaperän kosteuden siirtyminen ryömintätilaan ja sitä kautta alapohjarakenteisiin tulee estää. Kosteuden kapillaarinen nousu voidaan estää sopivalla maa-ainekerroksella, mutta kosteuden haihtuminen ryömintätilaan voidaan estää parhaiten eristämällä maaperä ryömintätilasta eristeellä, jonka vesihöyrynvastus on suuri ja joka toisaalta kestää siihen kohdistuvat kosteuskuormat.

Koska alapohjassa esiintyy kosteutta hyvin herkästi, kaikki lahoava, orgaaninen aines tulisi poistaa ryömintätilasta homeongelmien minimoimiseksi.

Pintavesien ja sadevesien pääsy ryömintätilaan ja alapohjarakenteisiin tulee estää, sillä tuulettuvaan alapohjaan ei saa kertyä vettä tai kosteutta, joka voi

haitata rakenteita. Käytännössä pintavedet johdetaan poispäin rakennuksesta riittävällä maan kallistuksella ja salaojituksella. Sadevedet johdetaan hallitusti katolta sadevesikaivoihin ja sitä kautta poispäin rakennuksesta.

4.4.2 Tuulettuvan alapohjan ryömintätilan tuuletus

Ryömintätilan korkeuden tulee olla vähintään 0,8 metriä ja tuuletusaukkojen yhteenlasketun vapaan pinta-alan vähintään neljä promillea alapohjan yhteenlasketusta pinta-alasta. Lisäksi tuuletusaukot sijoitetaan siten, että ilma vaihtuu koko alapohjan alueella ja riittävän korkealle maanpinnasta katsottuna.

Finndomo-talojen tuulettuvien alapohjien tutkimus osoittaa, että pelkästään rakennusmääräysten mukaiset tuuletusaukot eivät kuitenkaan ole riittävät. Tutkituissa taloissa alapohjaan muodostui homeetta, vaikka tuuletusaukot todettiin riittäviksi. Finndomo-talojen alapohjatutkimuksessa tuuletuksen puutteellisuuden syyksi todettiin olosuhteisiin riittämätön, vääränlainen kuivain. Myös Vinha ym. (2008) toteavat, että ajoittain ryömintätilaisessa alapohjassa esiintyy sellaisia kosteusolosuhteita, joita ei voida parantaa rakenteellisin ratkaisuin, vaan ainoastaan koneellisella kuivatuksella.

Alapohjan olosuhteet altistavat erityisesti kosteina kesinä alapohjan kosteusongelmille. Talvella tuulettuva alapohja toimii kosteusteknisesti hyvin, mutta kesällä lämpötilan noustessa ryömintätilan kosteuspitoisuus nousee. Rakennustietosäätiön mukaan home- ja mikrobikasvu alkaa suhteellisen kosteuden ollessa jatkuvasti yli 70–75 prosenttia ja lämpötilan ollessa +10–+55 celsiusastetta. Puuinfon mukaan jo ilman yli 70 prosentin suhteellista kosteutta voidaan pitää kriittisenä. Vinhan mukaan ryömintätilan suhteellinen kosteus on tavallisissa kesäolosuhteissa 78 prosenttia ja lämpötila 15 astetta. Home- ja mikrobikasvu on siis jo tavallisissa kesäolosuhteissa mahdollista.

Erityisen kosteina kesinä ryömintätilan olosuhteet muuttuvat mikrobikasvulle otollisiksi. Alapohjassa saattaa vallita jopa kyllästyskosteus, ja samanaikaisesti lämpötila pysyttelee pitkään mikrobikasvun mahdollistavissa lukemissa. Tuuletusaukkojen määrän lisääminen ei tässä tilanteessa auta, eikä myöskään

maaperän suojaaminen, sillä alapohjan kosteusolosuhteet määräytyvät tässä tilanteessa ulkoilman eli ryömintätilaa tuulettavan ilman suhteellisen kosteuden mukaan.

Lisäksi voidaan jo tässä kohdassa huomioida mahdolliset ilmastonmuutoksen vaikutukset kosteiden kausien pitenemiseen ja yleistymiseen. Todetaan, että ainoastaan alapohjan koneellisella kuivatuksella voidaan varmistua siitä, että tuulettuva alapohja toimii kosteusteknisesti oikein.

4.4.3 Vesihöyryn diffuusion ja konvektiovirtausten kontrollointi alapohjarakenteissa

Alapohjan kosteusolosuhteita on vaikeaa kontrolloida ilman sisäilman kosteuskuormitustakin, joten sisäilman vesihöyryn diffuusiolla tai konvektiovirtauksella alapohjarakenteisiin siirtyminen on estettävä. Siksi alapohjarakenteeseen sijoitetaan höyryn- ja ilmansulku tarkoituksenmukaiseen kohtaan lähelle alapohjarakenteen sisäpintaa.

4.4.4 Tuulettuvan alapohjan materiaalivalinnat

Koska alapohjassa esiintyy herkästi homevaurioille altistavaa kosteutta, alapohjan materiaaleissa tulisi huomioida niiden homehtumisherkkyys ja alttius kosteuden aiheuttamille muillekin vaurioille, kuten muodonmuutoksille ja lämmöneristävyiden heikkenemiselle. Orgaaniset aineet ovat herkkiä kosteuden aiheuttamille homevaurioille ja tarjoavat kasvualustan mikrobeille, joten tuulettuvan alapohjan materiaalivalinnoissa tulisi suosia epäorgaanisia tai erikseen homehtumiselta suojattuja materiaaleja.

4.5 Kosteusteknisesti varmat liitokset, läpiviennit sekä laite- ja putkiasennukset

Liitokset ja läpiviennit suunnitellaan ja toteutetaan siten, että ne eivät estä rakenteiden tuulettumista eivätkä haittaa rakenteiden kosteusteknistä toimintaa. Liitosten ja läpivientien kohdalla on erityisen tärkeää huomioida ilman- ja höyrynsulun eheys: Liitokset ja läpiviennit tiivistetään huolellisesti ja mahdolliset vuotokohdat varmistetaan.

Läpiviennit eivät saa estää ilman liikkumista tuuletustilassa. Sisätiloista tulevat putket viedään tuuletustilojen läpi ulkovaipan ulkopinnan ulkopuolelle, esimerkiksi yläpohjan tuuletustilan ja vesikatteen läpi, eikä niitä pidä suunnitella päättyväksi tuuletusväleihin tai -tiloihin, jolloin tuuletusvälin tai -tilan kosteuskuormitus saattaisi muuttua sisätiloista tulevan kostean ilman seurauksena. Putket eristetään jäätymisen varalta ja toisaalta samalla estetään kosteuden tiivistyminen niiden pinnoille.

Putket ja laitteet, jotka rikkoutuessaan tai väärin toimiessaan saattavat aiheuttaa vesivahingon, on sijoitettava siten, että mahdollinen vuoto havaitaan ennen kuin se ehtii aiheuttaa vahinkoa rakennuksessa. Vaihtoehtoisesti voidaan myös suunnitella asennukset siten, että vahinkotilanteessa vuotava vesi pystytään johtamaan turvallisesti ja hallitusti pois rakenteesta ilman, että se aiheuttaa vahinkoa rakenteessa.

4.6 Rakentamisen laatu ja rakennusmenetelmät rakenteiden kosteusteknisen toiminnan varmistajana

Edellä on jo todettu, että tiivis ilman- tai höyrynsulku rakenteissa auttaa kosteusteknisen toiminnan varmistamisessa. Rakennuksen laatuvaatimuksia asetettaessa tulisi huomioida eri rakenneosien merkitys kosteusteknisen toiminnan kannalta tarkasteltuna ja varmistua siitä, että rakentamisessa saavutetaan asetetut laatuvaatimukset, jotka osaltaan varmistavat sen, että rakenteet toimivat kosteusteknisesti oikein. Esimerkiksi vesikatteen detaljien ja läpivientien tiiviys ja

huolellisuus niiden toteuttamisessa ovat ensisijaisen tärkeitä seikkoja yläpohjan kosteusongelmia torjuttaessa.

Ilman- ja höyrynsulun tiiviys on yksi niistä avaintekijöistä, joilla voidaan varmistua rakenteiden turvallisuudesta. Ilman- ja höyrynsulkukerroksen suunnittelussa ja asennuksessa tapahtuneet virheet voivat myöhemmin kostautua rakenteessa ilmenevinä kosteusvaurioina. Toisaalta tiivis ilman- ja höyrynsulkukerros estää mahdollisten mikrobien kulkeutumisen sisätiloihin ja näin parantaa huoneilman laatua ja terveellisyyttä.

Rakennuskosteus on yksi kosteusvaurioita aiheuttavista kosteudenlähteistä. Rakennuskosteuden määrään voidaan vaikuttaa rakennusmateriaalien käsittelyssä ja rakennusvaiheessa etenkin paikalla rakentamisessa. Materiaalit tulisi suojata aina suoralta sateelta, maaperän kosteudelta ja muilta kosteuslähteiltä, jotta voitaisiin varmistua siitä, ettei rakenteisiin jää huomattavia määriä rakennuskosteutta rakennusvaiheessa. Myös oikea aikataulutus helpottaa tilanteessa, kun rakennusmateriaaleja ei tarvitse varastoida työmaalla kovin pitkiä aikoja. Toisaalta rakennuskosteudelle on annettava mahdollisuus kuivua kunnolla pois rakenteesta, ennen kuin kuivumispotentialiaalia heikennetään merkittävästi esimerkiksi pinnoittamalla rakennuskosteutta sisältävä rakenne vesihöyryä heikosti läpäisevällä materiaalilla.

Jos haluttaisiin minimoida rakennuskosteuden ja työmaalla tapahtuvien huolimattomuusvirheiden vaikutuksia rakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa, voitaisiin siirtyä yhä enenevässä määrin tehdasvalmisteisiin rakennuskomponentteihin. Mitä pidemmälle rakennus voidaan tehdä valvotuissa, olosuhteiden puolesta hallitussa tilassa, sen vähemmän rakenteisiin kohdistuu ulkoisia, hallitsemattomia kosteuskuormia. Tämä kuitenkin edellyttää, että valmiit elementit suojataan kosteuden vaikutuksilta myös työmaalla ja asennusvaiheessa, jolloin tehtaalla saavutetut kosteustekniset edut on mahdollista säilyttää.

4.7 Rakennuksen käytön vaikutus rakenteiden kosteustekniseen toimintaan

Rakenteiden kosteustekninen toiminta edellyttää rakennuksen kokonaisvaltaista tarkastelua ja hallinnointia. Jotta rakenteet toimisivat kosteusteknisesti oikein, rakenteiden suunniteltu kosteustekninen toimintatapa tulee mahdollistaa myös rakennuksen käyttövaiheessa. Rakenteiden kosteustekniseen käyttäytymiseen vaikuttaa itse rakenteen lisäksi ympäristö, joissa rakenteiden tulee toimia, ja sekä ulkoiset että sisäiset kosteuskuormat, jotka kohdistuvat siihen sen käytön aikana.

Ulkoisten kosteuskuormien kontrollointi on hankalaa, ellei jopa mahdotonta, mikäli tuuletustilojen tuulettumista ja kuivatusta ei ole järjestetty koneellisesti. Koneellisen kuivatuksen edellytys on, että laite on mitoitettu ja säädetty oikein tuuletettavaan tilaan nähden ja se huolletaan säännöllisesti toimivuuden varmistamiseksi.

Sisäisten kosteudenlähteiden kontrollointi edesauttaa rakenteiden kosteusteknisen toimivuuden varmistamisessa. Peseytymisen aiheuttamat kosteuskuormat pyritään minimoimaan johtamalla vedet hallitusti viemäriputkistojen kautta pois rakennuksesta. Siivouksessa käytetyn veden määrä tulisi valita materiaalien kosteudensietokyvyn mukaan, ja toisaalta pintoja tulisi hoitaa ja siivota siten, ettei rakenteisiin joudu niin suuria määriä kosteutta, että se ei pääsisi kuivumaan riittävän nopeasti ja aiheuttaisi kosteusvaurion. Rakennuksen ilmanvaihto tulisi kuitenkin olla säädettävissä niiden tilanteiden varalta, jolloin rakennusta kuormittaa pitkäkestoinen sisäinen kosteuskuorma, jollaisen voi aiheuttaa esimerkiksi saunominen.

Rakennuksen ilmanvaihdon suunnittelu tulisi sisällyttää osaksi rakenteiden kosteusteknistä suunnittelua. Rakennukset pyritään pitämään pääsääntöisesti alipaineistettuna, sillä sisätilan ylipaine voi siirtää sisäilmasta kosteutta huomattavankin paljon pienen ilman- tai höyrynsulun vuotokodan läpi. Sisätilojen ja ulkoilman paine-ero toteutetaan pääsääntöisesti koneellisen ilmanvaihdon avulla. Alipaineen aiheuttamat kosteusongelmat ovat Vinhan mukaan mahdollisia, koska viileä ulkoilma jäähdyttää vaipan sisäosia ja sisäpintaa, mutta alipaineen vaikutuksesta tapahtuvat kosteusongelmat jäävät pääsääntöisesti höyryn- ja ilmansulkukerroksen ulkopuolelle. Kun höyrynsulku on toteutettu ja tiivistetty

oikein, se estää mahdollisten haitallisten mikrobien siirtymisen huoneilmaan rakenteen höyryn- ja ilmansulun ulkopuolisista osista.

4.8 Puurakenteet tulevaisuudessa

4.8.1 Tiukentuvien energiamääräysten vaikutukset pientalojen puurakenteisiin

Tiukentuvat energiamääräykset tulevat vaikuttamaan puurakentamiseen tulevaisuudessa. Jo nyt käydään keskustelua siitä, kasvaako kosteusvaurioiden riski lisättäessä rakenteiden lämmöneristävyyttä. Rakenteiden paksuus tulee ainakin kasvamaan, mikäli ei siirrytä käyttämään sellaisia eristeitä, joiden lämmöneristyskyky mahdollistaa ohuempien rakenteiden toteuttamisen.

Vaikka Tampereen teknillisen yliopiston ja VTT:n tutkimukset rakennusten energiatehokkuuden parantamisen vaikutuksista rakenteiden kosteustekniseen toimintaan eriävät tuloksiltaan monessa kohdassa, voidaan niistä molemmista kuitenkin vetää yhtäläisiä johtopäätöksiä siitä, mitä matalaenergiarakenteiden kosteustekninen toimivuus edellyttää.

Luvussa 4.2.6 todettiin, että ulkoseinän sisäpuolisen vesihöyrynvastuksen kasvattaminen paransi normaalin, nykyvaatimukset täyttävän ulkoseinän kosteusteknistä toimintaa. VTT:n tutkimuksen valossa voidaan ajatella, että tilanne on sama myös matalaenergiarakenteiden kohdalla. Myös Tampereen teknillisen yliopiston mukaan rakenteiden kosteusteknistä toimintaa voidaan parantaa korottamalla sisäpuolisen höyrynsulun höyrynvastusta. Tästä voidaan siis päätellä, että rakenteiden energiatehokkuuden parantamisessa tulee ottaa huomioon rakenteiden tiiviys ja vaipan ilmanpitävyys, jotka samalla luonnollisesti parantavat rakennuksen energiatehokkuutta.

Edellä luvussa 4.4 käsiteltiin tuulettuvan, nykyvaatimukset täyttävän alapohjan kosteusteknistä toimivuutta. Rakenteen todettiin olevan jo nykyisellään ongelmallinen. VTT:n tutkimustuloksissa ehdotetaan, että alapohjan kosteusteknistä toimintaa parannettaisiin rakennusteknisin parannuksin, mutta

kuten luvussa 4.4.2 todettiin, riittävä tuuletus ja oikeat kosteusolosuhteet varmistetaan vain ryömintätilan koneellisella kuivatuksella ja lämmityksellä. Toisaalta ryömintätilan olosuhteiden koneellinen hallinta voidaan mitoittaa ja suunnitella siten, että alapohjan kosteusolosuhteet ovat terveelliset ja turvalliset, vaikka alapohjan lämmöneristävyyttä parannettaisiinkin matalaenergiatasolle. Käytettäessä koneellista kuivatusta tuulettuvan alapohjan turvallisuus voitaisiin taata myös matalaenergiarakennuksessa. Toisaalta koneellinen kuivatus kuitenkin heikentää rakennuksen energiatehokkuutta.

VTT:n tutkimuksesta käykin ilmi, että vaipparakenteiden ulkopinnassa esiintyy aina jonkin verran homeetta. Kun määritellään sitä, toimiiko jokin rakenne kosteusteknisesti oikein vai ei, joudutaan myös määrittelemään se, millainen homeenkasvu ulkovaipparakenteissa on hyväksyttävää ja missä vaiheessa homekasvua on liikaa. Jos tavoitteena on täysin homevapaa ulkovaipparakenne, se asettaa myös kosteustekniselle suunnittelulle omat haasteensa. Jos hyväksytään satunnainen homeen esiintyminen rakenteiden ulkopinnassa tai ulkopinnan välittömässä läheisyydessä, voidaan kosteusteknistä toimintaa mitoittaessa tehdä lieviä kompromisseja lämmöneristävyyden ja vaipan energiatehokkuuden parantamiseksi, kunhan huolehditaan sisäpuolisen höyrynsulun tiiviyydestä ja rakennuksen alipaineistuksesta, jolloin haitalliset mikrobit eivät pääse huoneilmaan.

4.8.2 Muuttuvan ilmaston vaikutukset pientalojen puurakenteisiin

Energiankulutuksen minimointiin tähtääviä kaavailtuja rakennusvaatimuksien kiristyksiä tulisi tarkastella energianäkökannan lisäksi muuttuvien sääolosuhteiden kannalta. Vaikka matalaenergiarakenteiden kosteusteknisen toiminnan tutkimuksen tulokset ovat ristiriitaisia, on selvää, että mikäli sääolosuhteet muuttuvat ennustettuun suuntaan ja kosteat kaudet lisääntyvät kuivumisjaksojen lyhentyessä ja vähentyessä, puurakenteisiin tulee kohdistumaan niiden energiatehokkuudesta riippumatta yhä pitempiketoisia kosteuskuormia.

Ilmastonmuutoksen ennustetaan vaikuttavan erityisesti talvikauden kosteus- ja sademääriin. Ilman suhteellisen kosteuden kasvaminen talvella ei sinänsä vaikuta

rakenteiden homehtumiseen, mikäli lämpötila pysyttelee alle +0 asteessa. Kosteuden kondensoituminen on kuitenkin edelleen mahdollista rakenteissa, mikä muodostuu ongelmaksi silloin, kun kuivumiskaudet ilmastonmuutoksen seurauksena lyhenevät. Erityisesti sellaisissa rakenteissa, jotka jo nyt ovat alttiita kosteusvaurioille, suhteellisen ilmankosteuden kohotessa kosteusvaurioiden todennäköisyys kasvaa. Esimerkiksi tuulettuvan alapohjan tapauksessa ilman suhteellisen kosteuden nousu vaikuttaa suoraan ryömintätilan suhteelliseen kosteuteen kohottamalla sitä entisestään. Jos lisäksi keskimääräiset lämpötilat nousevat, siirrytään ennen pitkää tilanteeseen, jossa ryömintätilan olosuhteet ovat otolliset mikrobi- ja homekasvulle suurimman osan vuodesta. Samoin yläpohjarakenteiden kuivumiskyvyn varmistaminen hankaloituu, jos tuuletusväliä tuuletetaan ulkoilmalla. Turvallinen vaihtoehto tässä tilanteessa on koneellinen ratkaisu.

Ilman suhteellisen kosteuden nousu vaikuttaa myös rakennemateriaalien hygroskooppiseen tasapainoon. Puun homehtuminen alkaa kun puun kosteus pysyttelee pitkään yli 20 prosentissa. Ilman suhteellinen kosteuspitoisuus on tällöin yleensä 80–90 prosenttia. Ilmaston muuttuessa voivat ne kaudet, jolloin ilman suhteellinen kosteus on huomattavan korkea ja lämpötila riittävän korkea home- ja mikrobikasvulle, yleistyä, jolloin hygroskooppisten materiaalien kosteudensietokyky ylittyy samalla kuin materiaalien kuivumiskyky heikkenee ilman korkean suhteellisen kosteuden johdosta.

Lisääntyvät sateet tulevat vaatimaan ulkovaipan ulkopintojen kosteudensietokyvyltä nykyistä enemmän pintojen joutuessa nykyistä raskaamman kosteusrasituksen kohteeksi.

On mahdollista, että myös sisätiloista rakenteisiin kohdistuvat kosteuskuormitukset muuttuvat ilmastonmuutoksen ja toisaalta energiamääräysten tiukkenemisen seurauksena. Jäähdytyksen tarve pientaloissa todennäköisesti lisääntyy tulevaisuudessa. Siksi tulisi rakenteita suunniteltaessa huomioida myös rakennuksen jäähdytyksen mahdolliset vaikutukset rakenteiden kosteustekniseen toimintaan.

Kokonaisvaltaisesti turvallista puurakenteista pientaloa suunniteltaessa tulisi siis ottaa huomioon myös rakennuksen käyttöikä ja se, kuinka muuttuvat sääolosuhteet vaikuttavat rakenteiden kosteustekniseen toimintaan tulevaisuudessa. Pelkästään tämänhetkisiin olosuhteisiin soveltuvia rakenteita suunniteltaessa ja toteutettaessa ei huomioida niitä riskitekijöitä, joita tulevaisuuden muutokset voivat rakennuksiin kohdistaa.

LÄHTEET

- Alasaarela, M. 2008. Hirsiseinän ekokilpailukyky. [Verkkajulkaisu]. Oulu: Hirsitaloteollisuus. [Viitattu 18.2.2012]. Saatavana: http://www.kontio.fi/files/hirsiseinan_ekokilpailukyky.pdf.
- Eurohonka. 2012. Hirsitalon lisälämmöneristys. [Verkkosivu]. Liedenpohja: Euro Loghouses Oy. [Viitattu 22.2.2012]. Saatavana: <http://www.eurohonka.fi/tekniikkaa/lisalampoeristys-hirsitalossa>.
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU, annettu 19. päivänä toukokuuta 2010, rakennusten energiatehokkuudesta (uudelleenlaadittu).
- Grahn, O. 2008. Stor fuktskandal i byggbranschen. [Verkkolehtiartikkeli]. Stockholm: SVD Nyheter. [Viitattu 3.4.2012]. Saatavilla: http://www.svd.se/nyheter/inrikes/stor-fuktskandal-i-byggbranschen_1154687.svd.
- Hyvärinen, J. & Ojanen, T. 2008. Lausunto rakenteiden energiatehokkuuden parantamisen vaikutuksista rakenteiden kosteustekniseen toimintaan. Tutkimuslause nro VTT-S-10816-08. [Verkkajulkaisu]. Espoo: VTT. [Viitattu 25.2.2012] Saatavana: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=96145&lan=FI>.
- Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Ruokolainen, L., Saku S. & Seitola, T. 2009. Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumistutkimuksia varten. ACCLIM-hankkeen raportti 2009. Helsinki: Ilmatieteen laitos.
- Kokko, E. 2002. Hengittävä puukuiturakenne. Fysikaalinen toimintaperiaate ja vaikutukset sisäilmaan. Vammala: Wood Focus Oy.
- Koponen, T. 2010. Hometalot: Finndomon asuntomessutalot homehtuivat VTT:n testissä. [Verkkolehtiartikkeli]. Helsinki: Aamulehti. [Viitattu 5.4.2012]. Saatavilla: <http://www2.aamulehti.fi/teema/kotijaasuminen/hometalot-finndomon-asuntomessutalot-homehtuivat-vtt-n-testissa/187543>.
- Käkelä, P. & Jormalainen, J. Ei päiväystä. Kosteusteknisesti turvallinen matalaenergia- ja passiivirakentaminen. [Verkkajulkaisu]. Kankaanpää: SPU-Systems Oy. [Viitattu 12.1.2012]. Saatavana: http://www.spu.fi/files/spu/pdf/kosteusteknisesti_turvallinen_matalaenergia-ja_passiivirakentaminen.pdf.
- Mattila, J. 2011. Ruotsin kokemuksia eristerappauksista. PP-esitys. Suomen Betoniyhdistys Oy. [Viitattu 5.4.2012]. Saatavilla:

http://www.betoniyhdistys.fi/index.php?__EVIA_WYSIWYG_FILE=2613&name=file.

- Pirinen, J. 2010. Kosteus- ja hometalkoot. Toimenpideohjelma – versio syyskuu 2010. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Ympäristöministeriö. [Viitattu 9.2.2012].
Saattavana:
<http://www.hometalkoot.fi/component/dpcontentplugin/files/download/20/Kosteus-%20ja%20hometalkoot%20toimenpideohjelma.pdf/>.
- Puuinfo. 2011. Puun käyttö rakentamisessa edistyi hyvin 2010. [Verkkosivu]. Helsinki: Puuinfo Oy. [Viitattu 7.2.2012]. Saattavana:
<http://www.puuinfo.fi/ajankohtaista/puun-kaytto-rakentamisessa-edistyi-hyvin-2010>.
- Puuinfo. Ei päiväystä. Kosteusteknisiä ominaisuuksia. [Verkkosivu]. Helsinki: Puuinfo Oy. [Viitattu 4.3.2012]. Saattavana: <http://www.puuinfo.fi/puu-materiaalina/kosteusteknisia-ominaisuuksia>.
- Rautiainen, A. 2002. Höyrynsulku vähentää kosteusriskejä. [Verkkolehtiartikkeli]. Helsinki: Suomen Rakennuslehti Oy. [Viitattu 28.3.2012]. Saattavana:
<http://www.rakennuslehti.fi/uutiset/lehtiarkisto/3148.html>.
- Ruosteenoja, K. 2010. Ilman suhteellisen kosteuden muutokset ilmaston lämmitessä. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 1.3.2012]. Saattavana:
http://cdn.fmi.fi/legacy-fmi-fi-content/documents/acclim_kosteusskenaario.pdf.
- RT 05-10710. 1999. Kosteus rakennuksissa. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS.
- RT 82-11006. 2010. Ulkoseinärakenteita. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS.
- RT 83-11009. 2010. Alapohjarakenteita. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS.
- RT 83-11010. 2010. Yläpohjarakenteita. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS.
- RT RakMK-21099. 1999. C2. Kosteus. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- Sisäilmäyhdistys. 2008a. Kosteuslähteet. [Verkkosivu]. [Viitattu 24.2.2012].
Saattavana:
http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/kosteusvauriot/kosteustekninen_toiminta/kosteuslahteet/.
- Sisäilmäyhdistys. 2008b. Kosteuden siirtyminen. [Verkkosivu]. [Viitattu 24.2.2012].
Saattavana:
http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/kosteusvauriot/kosteustekninen_toiminta/kosteuden_siirtyminen/.

- Sisäilmayhdistys. 2008c. Vesikatto ja yläpohja. [Verkkosivu]. [Viitattu 25.3.2012]. Saatavana: http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/kunnossapito_ja_korjaaminen/vesikatto_ja_ylapohja/.
- Sisäilmayhdistys. 2008d. Vaurioitumisen yleisperiaate. [Verkkosivu]. [Viitattu 23.3.2012]. Saatavana: http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/kosteusvauriot/kosteusvaurioituminen/vaurioitumisen_yleisperiaate/.
- Sisäilmayhdistys. 2008e. Katsaus mikrobeihin. [Verkkosivu]. [Viitattu 4.4.2012]. Saatavana: http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/kosteusvauriot/mikrobit/katsaus_mikrobeihin/.
- SPU-eristeet. 2011. SPU-AL eristeinen yläpohjarakenne. Runko kylmällä puolella. [Verkkojulkaisu]. Kankaanpää: SPU Oy. [Viitattu 23.2.2012]. Saatavana: http://www.spu.fi/files/spu/300811%20detaljit/YP_110.pdf.
- SPU-eristeet. Ei päivystä. Ylivoimaiset ominaisuudet. [Verkkosivu]. Kankaanpää: SPU Oy. [viitattu 23.2.2012]. Saatavana: http://www.spu.fi/eristeet_energiatehokas.
- Säteri, J. 1995. Homevaurioiden ehkäisy ja tunnistaminen. [Verkkosivu]. Espoo: Sisäilmayhdistys Ry. [Viitattu 12.1.2012]. Saatavana: http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/perustietoa/homevaurioiden_ehkaisy_ja_tunnistaminen/.
- Vinha, J. 2007. Hygrothermal Performance of Timber-Framed External Walls in Finnish Climatic Conditions: A Method for Determining the Sufficient Water Vapour Resistance of the Interior Lining of a Wall Assembly. Publication 658. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan laitos.
- Vinha, J. 2008. Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen toiminta Suomen ilmastossa. PP-esitys. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan laitos. [Viitattu 27.2.2012]. Saatavilla: <http://www.pohjoismaisetrakennuspaivat.fi/>: Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen toiminta Suomen ilmastossa.
- Vinha, J., Lindberg, R., Pentti, M., Mattila, J., Lahdensivu, J., Heljo, J., Suonketo, J., Leivo, V., Korpi, M., Aho, H., Lähdesmäki, K. & Aaltonen, A. 2008. Matalaenergiarakenteiden toimivuus. [Verkkojulkaisu]. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan laitos. [Viitattu 25.2.2012]. Saatavana: www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=94366.

Ympäristöministeriön tiedote. 2011. Uudet rakentamisen energiamääräykset annettu. [Verkkosivu]. Helsinki: Ympäristöministeriö. [Viitattu 1.3.2012].
Saatavana: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=380147&lan=FI>.

LIITTEET

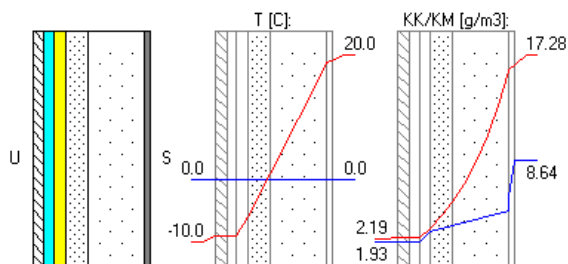
LIITE 1 Hengittävän ulkoseinärakenteen DOF-lämpö-raportti

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Opinnäytetyö	Hengittävä ulkoseinärakenne	
Suunnittelija:	Päiväys:	Tunnus:
Anna Kujala	28.4.2012	

Rakenteen pää tiedot:

U-arvo: 0.234 W/m²K
 Paksuus: 261.000 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 41.48 kg
 Hinta: 0.00 euro

 Vesihöyryn vastus: 1774.691 m²hPa/g
 Vesih. läpäisykerroin: 0.000563 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 4.276 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.130 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000



Rakenteen kerrostiedot:

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [m ² sPa/kg]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Puu (kuusi)	25.00	---	---	0.00	440.00
2 Tuulettuva ilmarako	22.00	---	---	0.00	0.00
3 Puukuitulevy, huokoi	25.00	0.0550	8.333333e+08	0.00	350.00
4 Puukuitueriste	50.00	0.0500	4.761905e+08	0.00	35.00
5 Puukuitueriste	125.00	0.0500	1.190476e+09	0.00	35.00
6 Ilmansulkupaperi	1.00	0.1400	1.000000e+09	0.00	0.00
7 Kipsilevy	13.00	0.2400	2.888889e+09	0.00	1200.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Tammikuu (744.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-10.00	2.19	1.93	88.0	0.00
1	-9.09	2.38	1.93	81.2	0.00
2	-9.09	2.38	1.93	81.2	0.00
3	-9.09	2.38	1.93	81.2	0.00
4	-5.90	3.10	2.81	90.4	0.00
5	1.12	5.25	3.31	63.0	0.00
6	18.66	15.99	4.56	28.5	0.00
7	18.71	16.03	5.61	35.0	0.00
8	19.09	16.39	8.64	52.7	0.00
S	20.00	17.28	8.64	50.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Lisätiedot:

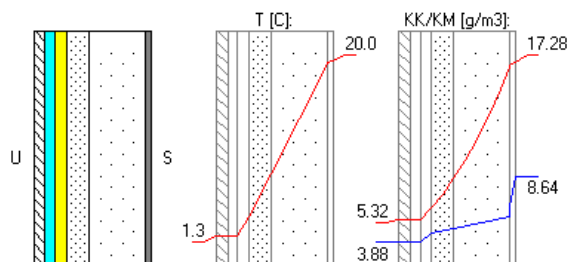
Jyväskylän sääolosuhteet

Rakennuskohde: Opinnäytetyö	Sisältö: Hengittävä ulkoseinärakenne	
Suunnittelija: Anna Kujala	Päiväys: 28.4.2012	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.234 W/m²K
Paksuus: 261.000 mm
Pinta-ala: 1.00 m²
Paino: 41.48 kg
Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 1774.691 m²hPa/g
Vesih. läpäisykerroin: 0.000563 g/m²hPa
Lämmönvastus: 4.276 m²K/W
Pintavastus, ulko: 0.130 m²K/W
Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [m ² sPa/kg]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1	Puu (kuusi)	25.00	---	---	0.00	440.00
2	Tuulettuva ilmarako	22.00	---	---	0.00	0.00
3	Puukuitulevy, huokoi	25.00	0.0550	8.333333e+08	0.00	350.00
4	Puukuitueriste	50.00	0.0500	4.761905e+08	0.00	35.00
5	Puukuitueriste	125.00	0.0500	1.190476e+09	0.00	35.00
6	Ilmansulkupaperi	1.00	0.1400	1.000000e+09	0.00	0.00
7	Kipsilevy	13.00	0.2400	2.888889e+09	0.00	1200.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:**Huhtikuu (720.0 h)**

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	1.30	5.32	3.88	73.0	0.00
1	1.87	5.53	3.88	70.2	0.00
2	1.87	5.53	3.88	70.2	0.00
3	1.87	5.53	3.88	70.2	0.00
4	3.86	6.34	4.50	71.0	0.00
5	8.23	8.45	4.86	57.5	0.00
6	19.16	16.46	5.75	34.9	0.00
7	19.19	16.49	6.49	39.3	0.00
8	19.43	16.73	8.64	51.7	0.00
S	20.00	17.28	8.64	50.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Lisätiedot:

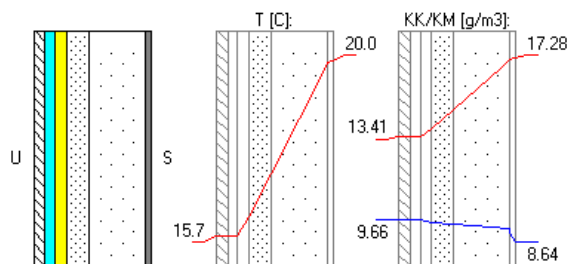
Jyväskylän sääolosuhteet

Rakennuskohde: Opinnäytetyö	Sisältö: Hengittävä ulkoseinärakenne	
Suunnittelija: Anna Kujala	Päiväys: 28.4.2012	Tunnus:

Rakenteen pää tiedot:

U-arvo: 0.234 W/m²K
Paksuus: 261.000 mm
Pinta-ala: 1.00 m²
Paino: 41.48 kg
Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 1774.691 m²hPa/g
Vesih. läpäisykerroin: 0.000563 g/m²hPa
Lämmönvastus: 4.276 m²K/W
Pintavastus, ulko: 0.130 m²K/W
Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [m ² sPa/kg]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1	Puu (kuusi)	25.00	---	---	0.00	440.00
2	Tuulettuva ilmarako	22.00	---	---	0.00	0.00
3	Puukuitulevy, huokoi	25.00	0.0550	8.333333e+08	0.00	350.00
4	Puukuitueriste	50.00	0.0500	4.761905e+08	0.00	35.00
5	Puukuitueriste	125.00	0.0500	1.190476e+09	0.00	35.00
6	Ilmansulkupaperi	1.00	0.1400	1.000000e+09	0.00	0.00
7	Kipsilevy	13.00	0.2400	2.888889e+09	0.00	1200.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:**Heinäkuu (744.0 h)**

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	15.70	13.41	9.66	72.0	0.00
1	15.83	13.52	9.66	71.4	0.00
2	15.83	13.52	9.66	71.4	0.00
3	15.83	13.52	9.66	71.4	0.00
4	16.29	13.89	9.53	68.6	0.00
5	17.29	14.75	9.45	64.1	0.00
6	19.81	17.10	9.26	54.2	0.00
7	19.81	17.10	9.10	53.2	0.00
8	19.87	17.16	8.64	50.4	0.00
S	20.00	17.28	8.64	50.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Lisätiedot:

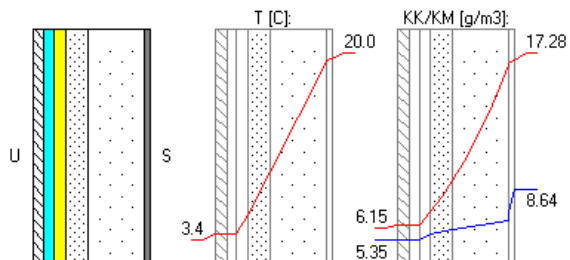
Jyväskylän sääolosuhteet

Rakennuskohde: Opinnäytetyö	Sisältö: Hengittävä ulkoseinärakenne	
Suunnittelija: Anna Kujala	Päiväys: 28.4.2012	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.234 W/m²K
Paksuus: 261.000 mm
Pinta-ala: 1.00 m²
Paino: 41.48 kg
Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 1774.691 m²hPa/g
Vesih. läpäisykerroin: 0.000563 g/m²hPa
Lämmönvastus: 4.276 m²K/W
Pintavastus, ulko: 0.130 m²K/W
Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [m ² sPa/kg]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1	Puu (kuusi)	25.00	---	---	0.00	440.00
2	Tuulettuva ilmarako	22.00	---	---	0.00	0.00
3	Puukuitulevy, huokoi	25.00	0.0550	8.333333e+08	0.00	350.00
4	Puukuitueriste	50.00	0.0500	4.761905e+08	0.00	35.00
5	Puukuitueriste	125.00	0.0500	1.190476e+09	0.00	35.00
6	Ilmansulkupaperi	1.00	0.1400	1.000000e+09	0.00	0.00
7	Kipsilevy	13.00	0.2400	2.888889e+09	0.00	1200.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:**Lokakuu (744.0 h)**

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	3.40	6.15	5.35	87.0	0.00
1	3.90	6.36	5.35	84.1	0.00
2	3.90	6.36	5.35	84.1	0.00
3	3.90	6.36	5.35	84.1	0.00
4	5.67	7.16	5.78	80.8	0.00
5	9.55	9.19	6.02	65.5	0.00
6	19.26	16.56	6.64	40.1	0.00
7	19.29	16.58	7.15	43.1	0.00
8	19.50	16.79	8.64	51.5	0.00
S	20.00	17.28	8.64	50.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Lisätiedot:

Jyväskylän sääolosuhteet

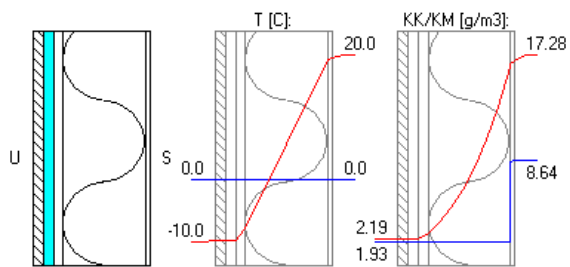
LIITE 2 Höyrynsulullisen ulkoseinärakenteen DOF-lämpö-raportti

Rakennuskohde: Opinnäytetyö	Sisältö: Rankarakenteinen ulkoseinä jossa höyrynsulkumuovi	
Suunnittelija: Anna Kujala	Päiväys: 29.4.2012	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.134 W/m²K
 Paksuus: 316.090 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 43.36 kg
 Hinta: 0.00 euro

 Vesihöyryn vastus: 57117.725 m²hPa/g
 Vesih. läpäisykerroin: 0.000018 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 7.462 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.070 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000



Rakenteen kerrostiedot:

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [gm/Nh]:	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1 Puu (mänty)	28.00	---	---	0.00	480.00
2 Tuulettuva ilmarako	28.00	---	---	0.00	0.00
3 Puukuitulevy, huokoi	25.00	0.0550	1.080000e-04	0.00	350.00
4 Mineraalivilla	223.00	0.0330	3.780000e-04	0.00	30.00
5 Muovikalvo 0.09 mm	0.09	0.3400	1.620000e-09	0.00	900.00
6 Kipsilevy	12.00	0.2400	1.620000e-05	0.00	1200.00

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:
U	-10.00	2.19	1.93	88.0	0.00
1	-9.72	2.25	1.93	85.8	0.00
2	-9.72	2.25	1.93	85.8	0.00
3	-9.72	2.25	1.93	85.8	0.00
4	-7.89	2.63	1.96	74.4	0.00
5	19.28	16.57	2.03	12.2	0.00
6	19.28	16.57	8.55	51.6	0.00
7	19.48	16.77	8.64	51.5	0.00
S	20.00	17.28	8.64	50.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Lisätiedot:

Jyväskylän sääolosuhteet